

Viivi Lagom

# Säteilylähdekokoonpanon virtauttaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

10.04.2016

Tekijä Otsikko	Viivi Lagom Säteilylähdekokoonpanon virtauttaminen
Sivumäärä Aika	42 sivua + 5 liitettä 10.04.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Terveydenhuollon tekniikka
Ohjaajat	Työnjohtaja Kauko Tiainen Lehtori Kai Lindgren
<p>Insinöörityön aiheena oli röntgensäteilylähteen kokoonpanolinjan arvovirtakartoitus ja virtautetun reaali-prosessin luominen. Tavoitteena oli luoda arvovirtakartta nykyisestä tuotantolinjan tilasta ja reaali-prosessissa tutkia mahdollisuus yhden kappaleen virtaukseen sekä kiinnittää huomiota työergonomiaan.</p> <p>Työhön sovellettiin Toyotalta tulleita lean-ajattelun periaatteita ja menetelmien testaamiseen käytettiin tuotannosta irrallisia solukokeiluja. Reaali-prosessissa estettiin ylituotantoa ja rajoitettiin eräkokoja ohjaamalla materiaalivirtaa settilaatikoiden avulla. Työntekijöiden työergonomiaa pyrittiin parantamaan ottamalla käyttöön sähköiset työpöydät. Työ tehtiin jatkuvassa yhteistyössä kokoonpanotyöntekijöiden ja työnjohdon kanssa ja työntekijöiden ammattitaitoa hyödynnettiin jatkuvasti osallistavilla menetelmillä.</p> <p>Tuloksena saatiin reaali-prosessiin U-kokoonpanosolu, jossa materiaalivirtaa settilaatikossa solun läpi. Settilaatikko ohjaa vahvasti yhden kappaleen virtausta, joka estää ylituotannon ja eliminoi suuren osan lean-ajattelumallissa määritellyistä hukista, joita nykyprosessissa havaittiin. Tämä virtaviivaistaa tuotantoa ja auttaa kokoonpanolinjaa vastaamaan asiakkaan kysyntään tehokkaammin.</p>	
Avainsanat	lean, u-solu, arvovirtakartta

Author Title	Viivi Lagom Value-Stream Analysis For Tubehead Assembly Line
Number of Pages Date	42 pages + 5 appendices 10 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Medical Engineering
Instructors	Kauko Tiainen, Foreman Kai Lindgren, Senior Lecturer
<p>The topic of this thesis is making a value-stream analysis and creating a future-state process for x-ray tubehead assembly line. The target was to create a value-stream map for the current assembly line and investigate the possibility of creating a one piece flow in a future-state process. Goal was also to improve working ergonomics.</p> <p>Lean -principles from Toyota were applied to the task and new methods were tested outside of the current assembly line. Overproduction was prevented and batch size was limited in future-state process by leading material flow with a material box. Working ergonomics of assemblers were improved by introducing electrical workbenches. Work was done in close collaboration with group of assemblers and foremen from the tubehead assembly line. The professional expertise of the assemblers was used a communal strategies.</p> <p>As a result, future-state U-line was formed where material flows by material boxes. Material box is a strong guide for material one piece flow and it prevents overproduction and eliminates a huge amount of other wastes which were found from current-state process. This streamlines the production and helps assembly line to make products which are needed by the customer.</p>	
Keywords	lean, u-line, value-stream map

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Planmeca Oy	1
3	Lean	2
3.1	Historia	3
3.2	Tuotteen arvon määritelmä	4
3.3	Hukat	5
3.4	Yhden kappaleen virtaus	7
3.5	Leanin työkalut: Arvovirtakartta ja spaghettidiagrammi	7
4	Nykytilan arvovirtakartoitus	8
4.1	Virtautuksen raja	9
4.2	Materiaalivirta	10
4.3	Informaatiovirta	12
4.4	Säteilylähdetuotannon nykytilan arvovirtakartan tekeminen	13
4.5	Varasto	14
4.6	Kokoonpanolinja	15
4.7	Pesu- ja kuivausprosessit	16
4.8	Säteilylähteen öljytäyttö	17
4.9	Säteilylähteen testaus	18
4.10	Spaghettidiagrammi	18
4.11	Nykytilan arvovirtakartan yhteenveto	20
5	Ideaaliprosessi	20
5.1	Ideaaliprosessi I	21
5.2	Ideaaliprosessi II	23
5.3	Ideaaliprosessi III	24
6	Reaaliprosessi	25
6.1	Solukokeilu I: päävaihe I ja päävaihe II	26
6.1.1	Kokeilujen suoritus päävaiheelle I	27
6.1.2	Suuntaaminen ja elektroniikan testaus	30
6.1.3	Kokeilujen suoritus päävaiheelle II	31

6.2	Solukokeilu II: Alikokoonpanosolututkimus	33
6.3	Lopputulos	37
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Toyotan tavan 14 periaatetta	
	Liite 2. Nykytilan arvovirtakartta koko tuotannosta	
	Liite 3. Nykytilan arvovirtakartta kokoonpanosta	
	Liite 4. Solukokeilussa I päävaiheessa I käytettävät välineet ja aineet	
	Liite 5. Solukokeilussa I päävaiheessa II käytettävät välineet ja aineet	

## Lyhenteet

ESD	Electrostatic discharge. Staattisen sähkövarauksen purkautuminen.
KET	Keskeneräinen tuotanto, sellainen tuote, jonka valmistus on aloitettu, mutta sitä ei voida käyttää.
NVA	Non-Value adding. Aika tai toimenpide, joka ei lisää arvoa prosessiin.
TPS	Toyota Production System. Toyotan kehittämä tuotantojärjestelmä.
VA	Value-adding. Aika tai toimenpide, joka lisää arvoa prosessiin.

## 1 Johdanto

Insinöörityö tehtiin Planmeca Oy:lle, joka on yksi maailman suurimmista hammasteknologiaa valmistavista yrityksistä. Työssä tehtiin arvovirta-analyysiä röntgensäteilylähdetuotannosta leanin periaatteita mukailevilla menetelmillä. Röntgensäteilylähteet ovat osa hammasröntgenlaitteita, joilla kuvannetaan potilaiden kalloa ja hampaita. Säteilylähteet kootaan erillisellä tuotantolinjalla, josta ne valmiina siirtyvät kiinnitettäväksi päälinjan hammasröntgenlaitteisiin. Nykyisessä muodossaan linja ei pysty kovin helposti vastaamaan päälinjan kysyntään, joten virtauttamisen tavoitteena oli tutkia säteilylähdetuotannon ongelmia ja saada kokoonpanolinja virtaamaan paremmin.

Insinöörityössä luotiin arvovirtakartta tuotannon nykyisestä tilasta, jotta nykytilan ongelmat saataisiin paremmin esille. Arvovirtakartta pyrittiin tekemään tuotannon nykyistä tilaa kuvaavaksi. Työssä suunniteltiin myös virtautettu reaali prosessi säteilylähteen kokoonpanolinjalle, jossa otetaan huomioon lean-ajatteluun yhdistettävät hukat ja parannetaan työntekijän työergonomia. Reaali prosessissa tavoiteltiin nykyprosessin eräkoon pienentämistä mahdollisuuksien mukaan yhden kappaleen eräkooksi. Työn aikana luotua reaali prosessia testattiin solukokeilujen avulla sen tuotantoon soveltuvuuden määrittämiseksi.

Nykyprosessin ja reaali prosessin lisäksi luotiin ideaali prosesseja, joiden tekemiseen osallistui myös tuotantotyöntekijöitä. Ideaali prosessien tarkoituksena oli kuvata kokoonpanolinjan tulevaisuuden tilaa, jota voidaan pitää ihannetilana.

## 2 Planmeca Oy

Planmeca Oy on hammasteknologian alalla toimiva suomalainen perheyriety, joka on perustettu 1970-luvulla. Planmeca Oy toimii emoyhtiönä Planmeca Groupille, johon kuuluu kuusi hammasteknologiaan erikoistunutta yritystä. Koko Planmeca Groupin palveluksessa on 2700 henkilöä, ja pääkonttori sijaitsee Helsingin Herttoniemessä. Nykyään yritys on alallaan yksi maailman johtavista ja sen tuotteita myydään yli 120 eri maahan. Planmeca Oy valmistaa ja kehittää hammasröntgenlaitteita,

hammashoitokoneita, CAD/CAM-ratkaisuja hammasteknologian tarpeisiin sekä tietokoneohjelmistoja. [1.]

Planmeca Oy:n uusi innovaatio hammasröntgenteknologiassa on Planmeca Ultra Low Dose™, joka mahdollistaa 3D-röntgenkuvauksen pienemmällä säteilyannoksella kuin tavallisessa panoraamalaitteessa. Ominaisuus pienentää potilaaseen tulevan efektiivisen säteilyannoksen keskimäärin 77 % normaalista 3D-röntgenkuvan säteilyannoksesta. Efektiivisellä annoksella tarkoitetaan suuretta, joka kuvaa ionisoivan säteilyn aiheuttamaa terveydellistä haittaa. Teknologia parantaa potilasturvallisuutta ja mahdollistaa pienimmät mahdolliset säteilyannokset, joita käytännön toimenpiteet edellyttävät. [2.] Planmeca Ultra Low Dose™ palkittiin marraskuussa 2015 hammaslääkäripäivillä Innovaatio 2015 -kunniamaininnalla. [1.]

Tässä työssä keskitytään Planmeca Oy:ssä tuotettaviin ProMax® 3D-tuoteperheen röntgensäteilylähteisiin. Tuoteperheen hammasröntgenlaitteilla on mahdollista tuottaa sekä 2D- että 3D-kallokuvia.[1.] Säteilylähde on yksi osa hammasröntgenlaitetta, ja sen avulla tuotetaan röntgenkuvaan tarvittava röntgensäteily. Säteilylähde koostuu röntgenputkesta, röntgenputken toimintaan tarvittavasta elektroniikasta (esim. tehomuuntajista) ja kotelosta. Säteilylähteellä tarkoitetaan koko säteilylähdettä eikä ainoastaan röntgenputkea.

### **3 Lean**

Perinteisesti yritykset tehostavat prosessejaan parantamalla hyväksi havaittuja prosessin osia. Teollisuudesta voidaan ottaa esimerkiksi kone, joka työstää ruuveja. Mikäli konetta halutaan tehostaa, perinteisesti sen käynnissäoloaika pidennetään, laitetaan se työstämään nopeammin tai automatisoidaan kaikki siihen liittyvät prosessit, kuten materiaalin siirrot. Tämä parantaakin huomattavasti tuota yksittäistä prosessia, mutta sen vaikutus kokonaisarvovirtaan on vähäistä. Tämä johtuu siitä, että useimmissa prosesseissa on melko vähän sellaisia prosessin osia, jotka jalostavat tuotetta eteenpäin, joten niiden osien parantaminen ei merkitse paljon. Suuremmat parannukset saadaan vähentämällä tai poistamalla sellaisia osia prosessista, jotka eivät vaikuta suoraan tuotteen jalostamiseen.



Lean-parannusmenetelmissä on kyse siitä, että juuri sellaisia prosesseja, jotka eivät jalosta tuotetta eteenpäin pyritään poistamaan. Näitä prosesseja kutsutaan ”arvoa tuottamattomiksi” eli NVA-prosesseiksi. Prosesseja, jotka jalostavat tuotetta kutsutaan ”arvoa tuottaviksi” eli VA-prosesseiksi. NVA-prosesseja eliminoimalla pienennetään myös VA-prosesseja, jotka mahdollistavat useamman VA-prosessin tekemisen peräkkäin. Paras esimerkki tästä on yhden kappaleen virtaus, jossa käytännössä on ketjutettu kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat VA-prosessit peräkkäin ja prosessiketjun päässä tuote on jalostunut valmiiksi mahdollisimman lyhyessä ajassa ja tehokkaasti. Edellistä esimerkkiä soveltaen lean-parannusmenetelmissä, joissa haluttaisiin tehostaa ruuvien työstön tehokkuutta, analysoitaisiin ensin koko prosessiketju. Tämän jälkeen tunnistettaisiin sellaiset asiat, jotka eivät tuota varsinaisesti arvoa prosessiin, esimerkiksi ruuvien varastointi ennen asiakkaalle menoa. Sen jälkeen pyritään selvittämään asiakkaan tarve ja tuottamaan ruuveja vain silloin, kun asiakas niitä tarvitsee, joten turhasta varastoinnista voidaan luopua.

Lean-ajattelumalli on lähtöisin Toyotan tehtaalta Japanista, ja sen periaatteet voidaan jakaa 14 Toyotan tapaan. Ideana periaatteissa on tarjota työntekijöille työkaluja, joilla voidaan jatkuvasti parantaa omaa työtä. Luettelo 14 tavasta selityksineen löytyy liitteestä 1. [3, s. 31-37.]

### 3.1 Historia

Ensimmäiset ajatukset linjamaisista tuotantoprosesseista kehittyivät jo 1450-luvulla Venetsiassa. Linjamaisilla tuotantoprosesseilla tarkoitetaan tuotteen tuottamista niin, että sen tuotantovaiheet on jaettu osiin eikä koko tuotetta tehdä kerralla. Kuitenkin ensimmäisen kokonaisen tuotantoprosessiketjun yhtenäisti Henry Ford. Vuonna 1913 hän loi liikkuvan tuotantolinjan, jossa valmistettiin samanlaisia osia liukuhihnalla. Tätä hän kutsui tuotantovirraksi. Henry Ford järjesteli kokoonpanon niin, että hän sai koneet tekemään useita työvaiheita ja näin kasattua osia muutamissa minuuteissa. Tämä oli täysin uutta amerikkalaisessa teollisuudessa, ja idea oli täysin ainutlaatuinen.

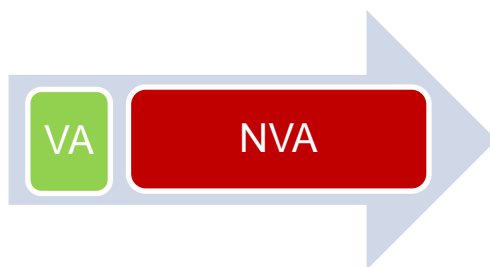
Fordin tuotantolinjan ongelmana ei ollut tuotteen virtaus, sillä hän sai erittäin pienessä ajassa tehtyä suuren määrän tuotteita. Ongelmaksi muodostui se, että tuotantolinja ei kyennyt tekemään erilaisia ja vaihtelevia osia. Jokainen Fordin tuotannon osa teki ainoastaan yhdenlaista tuotantoa, joten asiakkaan vaatimuksiin ei voitu vastata, mikäli

tarvittiin jonkinlaisia variaatioita. Tässä kohdin Ford alkoi menettää markkinaosuuttaan, koska muut alan valmistajat pystyivät tekemään monia erilaisia tuotetta ja näin vastaamaan kysyntään. Tuotteiden tekemiseen meni kuitenkin kauan. Saadaakseen tehokkaamman tuotannon valmistajat nopeuttivat tuotantolinjojaan ja tekivät suuria eriä kerralla, jolloin yhden tuotteen tekemiseen kuluvat kustannukset alenivat. Tämä kuitenkin aiheutti suuria varastokustannuksia ja pidensi tuotteiden kokoonpanoon menevää aikaa.

Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohno ja muut Toyotan tehtaalta tutkivat asiaa 1930-luvulla ja he tulivat siihen tulokseen, että muutamat innovaatiot saattavat ratkaista tuotantovirtaan ja tuotteiden variaatioihin liittyvät ongelmat. He tutkivat Fordin alkuperäistä ajatusta ja loivat TPS:n. Tässä järjestelmässä he siirsivät huomion pois yksittäisistä prosesseista ja sen sijaan keskittyivät tuotteen virtaan koko tuotannon lävitse. He tulivat sellaiseen tulokseen, että mikäli jokainen prosessi saadaan vastaamaan ainoastaan seuraavan prosessin tarvetta, voidaan tehdä tuotteita, joiden kustannukset ovat pienempiä, variaatioita on paljon ja kokoonpanoaika on mahdollisimman pieni. [4.]

### 3.2 Tuotteen arvon määritelmä

Tuotteen tai prosessin arvo määritellään lean-ajattelumallissa aina asiakkaan näkökulman kautta. Arvoa tuottaa tuotteeseen vain sellainen prosessi, josta asiakas on valmis maksamaan ja kaikki muu on arvoa tuottamatonta. [3.] Tuotannon näkökulmasta puhutaan tuotteen läpimenoajasta eli siitä kokonaisajasta, joka tarvitaan, että asiakas saa tarvitsemansa valmiin tuotteen. Läpimenoajan sisään kuuluu prosesseja, jotka täytyy suorittaa, jotta tuote olisi valmis. Tämä prosessi koostuu arvoa tuottavasta ajasta (VA) sekä arvoa tuottamattomasta ajasta (NVA).



Kuva 1. Arvoa tuottavan ajan suhde arvoa tuottamattomaan aikaan

Aidosti asiakkaalle arvoa tuottavaa aikaa on yleensä hyvin paljon vähemmän kuin arvoa tuottamatonta aikaa. Arvoa tuottavan ajan sisällä tuote jalostuu eteenpäin, esimerkiksi kokoonpanotyössä silloin kun ruuvia ruuvataan kiinni. Arvoa tuottamatonta aikaa ovat sellaiset toimenpiteet, jotka eivät varsinaisesti jalosta tuotetta eteenpäin, esimerkiksi tavarankäily. NVA voi olla prosesseissa välttämätöntä, mutta sitä pyritään minimoimaan. Seuraavassa luvussa käydään läpi, millaisia asioita NVA-prosessit voivat pitää sisällään.

### 3.3 Hukat

Hukat ovat prosesseissa tapahtuvaa toimintaa, jotka eivät lisää arvoa tuotteeseen. Hukkien eliminointi on Toyotan tuotantojärjestelmän ydin. Aina kuitenkin hukan täysi eliminointi ei ole mahdollista, joten monissa tapauksissa hukkia pyritään vähentämään. Hukat voidaan jakaa kahdeksaan kategoriaan, jotka ovat ylituotanto, odottelu, tarpeeton kuljetus, ylikäsittely, liiallinen varasto, tarpeeton liike, viat ja käyttämätön potentiaali.

Ylituotannossa tuotetaan tuotetta enemmän kuin on tarpeellista. Ylituotantoon johtaa se, että tuotetta tehdään aiemmin tai nopeammin kuin sitä tarvitaan. Ylituotannolle on tyypillistä ylimääräiset varastot, epätasapainoinen materiaalivirta ja epäselvyys tuotteen tärkeysjärjestyksestä. Ylituotantoa pidetään tärkeimpänä hukkana, koska se aiheuttaa suurimman osan muista hukista. Mikäli valmistetaan osia, joita ei ole vielä tilattu, kertyy varastoa. Varasto aiheuttaa suuret puskurit, joka taas aiheuttaa sen, että mikäli yhdessä osassa havaitaan vika, täytyy kaikki varaston osat käydä läpi vikojen varalta ja mahdollisesti koko varaston osat on hylättävä. [3, s. 28-29.]

Odottaminen on prosessissa olevaa joutoaikaa. Se voi olla ihmisten odottamista tai työn tai tuotteen odottamista. Odottamiseen johtaa yleensä epätasainen työkuorma, informaation puutos, materiaalin liikkumisen vaikeus tai yhteen sopimattomat työmenetelmät. Tyypillistä tälle hukalle on, että jokin kone, kohde tai materiaali odottaa tekijää tai tekijä seuraa, kun kone tekee töitä. [3, s.28.]

Tarpeettomalla kuljettelulla tarkoitetaan keskeneräisen tuotteen kuljettamista tarpeettomasti pitkiä matkoja. Tarpeetonta kuljettelua voi olla esimerkiksi materiaalin

siirtäminen varastosta toiseen ennen kuin se saadaan linjalle, josta se lähtee jalostumaan eteenpäin. [3, s. 29.]

Ylikäsittely eli yliprosessointi tarkoittaa tuotteen virtaamista sellaisten prosessien läpi, jotka eivät ole välttämättömiä toimenpiteitä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi ylilaatua, jossa tehdään parempaa laatua kuin asiakas vaatii. [3, s. 29.]

Varastot ovat raaka-aineiden, keskeneräisten tuotteiden tai valmiiden koonnosten säilytyspaikkoja. Varastoihin johtaa tehoton suunnittelu ja ensi kädessä ylituotanto. Varastojen ongelmia ovat tuotteen odottaminen, prosessin pitkä läpimenoaika ja yrityksen sitoutunut pääoma. [3, s. 29.]

Liikkumisella tarkoitetaan mitä tahansa ihmisen liikkumista, joka on arvoa tuottamatonta. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi osien hakemista, sillä asiakas ei ole valmis maksamaan siitä, että osa täytyy hakea jostain, kun se voisi olla valmiiksi jo lähettyvillä. Tyypillistä ylimääräistä liikkumista on materiaalin hakeminen kaukaa ja tuotantolinjan huono pohjapiirustus ja sijoittelu. [3, s. 29.]

Viat liittyvät viallisten osien tuottamiseen ja korjaamiseen. Inhimillisiä virheitä syntyy väistämättä, mutta niiden minimointiin, ennaltaehkäisyyn ja kiinni saamiseen voidaan vaikuttaa. Viat vaikuttavat tuotantoon eniten silloin, kun yrityksellä on suuret varastot. Mikäli varastossa olevassa tuotteessa havaitaan vika, joudutaan koko varasto uudelleen käsittelemään ja tutkimaan, onko jokaisessa tuotteessa vikaa. Uudelleen käsittely eli yliprosessointi on taas itsessään myös yksi hukka. [3, s. 29.]

Käyttämättä jätetyllä potentiaalilla tarkoitetaan työntekijöiden ajan, ideoiden, asiantuntevuuden, taitojen ja oppimismahdollisuuksien haaskaamista. Tämä hukka tulee esiin, mikäli yritys ei osallista työntekijöitä mukaan eikä ehdotuksia kuunnella. Esimerkiksi juuri virtautettavan tuotantolinjan työntekijöillä on paras asiantuntevuus työtavoista ja menetelmistä, joten hukkaa heitettyä potentiaali on, mikäli heidän ideoitaan ei oteta huomioon. [3, s.28-29.]

### 3.4 Yhden kappaleen virtaus

Yhden kappaleen virtauksella tarkoitetaan kokoonpanossa tuotteen liikkumista tuotantolinjan läpi yhden kappaleen eräkoolla. Yhden kappaleen virtauksessa on paljon erilaisia hyötyjä massatuotantoon verrattuna. Massatuotannon ideana on tehdä suuria eräkokoja ja aikaan saada mahdollisimman pienet kustannukset yhtä tuotetta kohdin. Yhden kappaleen virtauksen hyödyt massatuotantoon verrattuna löytyvät esimerkiksi laadusta, asiakastarpeisiin vastaamisesta ja tuottavuuden parantamisesta.

Yhden kappaleen virtauksessa laadun tarkkailu on helppoa, sillä jokainen työntekijä ottaa vastuun siitä, ettei viallinen osa pääse etenemään tuotantolinjastossa. Mikäli kuitenkin vika huomataan vasta myöhemmin, vika saadaan kiinni nopeasti eikä suurta erää virheellisiä tuotteita ole ehditty tekemään. Näin ollen koko erää ei tarvitse tarkastaa, ja korjaaminen sujuu helpommin. Asiakastarpeisiin vastaaminen on myös helpompaa, sillä tuotteet tehdään asiakkaan tilauksen mukaan yksi kerrallaan. Mikäli asiakas tilaa vähemmän tavaraa, ei ongelmia ilmaannu turhan varastoinnin kanssa eikä ylituotantoa pääse syntymään.

Tuottavuus paranee myös yhden kappaleen virtauksessa, koska resursseja voidaan kohdistaa juuri sinne, missä niitä tarvitaan. Tuotannon suunnittelija näkee esimerkiksi tuotantolinjalta, missä prosessissa on kiire ja missä ei, joten kiireisiin prosesseihin voidaan siirtää apua nopeasti. Tähän liittyy myös tilan vapautuminen, koska yhden kappaleen solutuotannossa kaikki tarvittava materiaali ja työvoima ovat lähellä toisiaan. Massatuotantoon verrattuna tilaa säästyy, kun ei tarvitse käyttää turhia varastopaikkoja tai tavara ei tarvitse paljon tilaa liikkuakseen pitkiä matkoja. [3 s. 96.]

### 3.5 Leanin työkalut: Arvovirtakartta ja spaghettidiagrammi

Arvovirtakartan ideana on esittää mahdollisimman yksinkertaisesti ja ymmärrettävästi prosessin virtaus ja arvoa tuottavat (VA) ja arvoa tuottamattomat (NVA) osat. Tarkoituksena on piirtää kaikki prosessit näkyville. Arvovirtakartan tekeminen on hyvä lähtöpiste aloittaa lean-ajattelumallin suunnittelu ja käyttöönotto yritykseen. Sen avulla voidaan luoda jatkuva virtaus yrityksen tärkeimpiin prosesseihin, joka taas takaa mahdollisuuden monien muiden lean-työkalujen käyttöönottoon, kuten sisäänrakennettuun laatuun eli jidokaan.[3, s.87-88.]

Arvovirtakarttaan valitaan usein ensimmäiseksi tietty tuotantolinja ja tietty tuoteperhe, jota lähdetään piirtämään. Arvovirtakartta piirretään yleensä käsin ja suoraan tuotannossa niin, että kaikki mahdolliset prosessit on kuvattu yksinkertaisilla ja tarkoilla symboleilla. Tällä tavoin kartan piirtäjä saa itse idean siitä mitä tekeminen on oikeasti ja kuinka kauan jokaiseen vaiheeseen menee aikaa. Arvovirtakarttaa tehdessä ei luoteta standardiaikoihin, koska ne kuvaavat yleensä prosessia niin kuin se on ollut silloin, kun kaikki toimii oikein.

Arvovirtakarttaan piirretään tuotantolinjan tapauksessa kaikki ne prosessit, jotka tuote käy läpi ennen kuin se menee asiakkaalle. Siihen kerätään tietoa esimerkiksi vaiheajoista, eräkoista, varastoista ja keskeneräisestä tuotannosta. Tätä kaikkea hyödynnetään linjan kehittämisessä ja tulevaisuuden tilan suunnittelussa. Arvovirtakarttoja tehdään tuotantolinjasta jatkuvasti, sillä lean-periaatteiden mukaan aina voi parantaa eikä prosessi koskaan ole hiottu niin hyväksi, ettei siinä olisi mitään kehitettävää. [5 s. 7.]

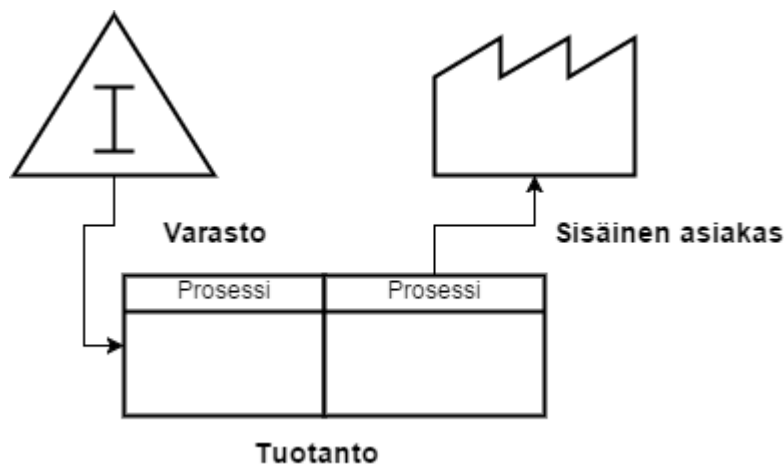
Spaghettidiagrammi on nopea ja helppo työkalu mallintaa ihmisten ja tavarankuulumista tuotantolinjalla. Nimi ”spaghetti” tulee diagrammin lopputuloksesta, jossa ihmisten ja tavarankuulumista reittiä kuvataan nuolilla. Toisin kuin arvovirtakartassa, spaghettidiagrammi mukailee tuotantoprosessin fyysistä pohjapiirrustusta ja siinä on tarkoitus mitata konkreettista matkaa, joka linjaa pitkin kuljetaan. Sen avulla voidaan analysoida ja optimoida etäisyyksiä tuotantolinjan sisällä, ja se tuo selkeästi esiin liikkumiseen liittyvän hukan.[6.]

## 4 Nykytilan arvovirtakartoitus

Nykytilan arvovirtakartta on työkalu, joka kuvaa tuotantoa juuri niin kuin se on tällä hetkellä. Nykytilan arvovirtakartoitus on erittäin tärkeä osa virtauttamista, koska sillä voidaan visualisoida tämän hetken kehityksen kohteet, ja se antaa tiedon prosessien toimimisesta yksinkertaisessa muodossa. [5, s. 2.] Virtauttaminen etenee niin, että ensin määritellään nykytila, sitten luodaan ideaaliprosessit ja lopuksi tehdään reaali-prosessi, jota lähdetään kokeilemaan tuotannossa.

#### 4.1 Virtautuksen rajaus

Säteilylähteen koko prosessiketju alkaa, kun kokoonpanoon tarvittava materiaali haetaan varastosta ja loppuu, kun valmis säteilylähde toimitetaan sisäiselle asiakkaalle. Sisäinen asiakas on yrityksen sisällä oleva hammasröntgenlaitteiden tuotantolinja, joka kiinnittää säteilylähteen loppuasiakkaalle menevään hammasröntgenlaitteeseen.



Kuva 2. Havainnekuva prosessiketjusta.

Virtautusprojekti rajattiin koskemaan ainoastaan säteilylähteen kokoonpanolinjaa, vaikka arvovirtakartoitus tehtiin koko tuotantoprosessille. Ongelmaksi muodostui säteilylähteiden ultraäänipesun jälkeiset kuivumisaajat, joita ei pystytty projektin aikataulun puitteissa tutkimaan tarpeeksi. Kuivumisaikojen tutkiminen vaatisi alipaineimujärjestelmän, jonka avulla voitaisiin määrittää säteilylähteen kosteusprosentti eri kuivumismenetelmätestausten jälkeen. Säteilylähteen on oltava tarpeeksi kuiva läpilyöntien ehkäisemiseksi. Nykytilanteessa kuivatus tehdään lämpökaapeissa.

Toinen kuivumisaikoihin liittyvä ongelma havaittiin, kun tutkittiin tiivistämisessä käytettävän silikonin kuivumisaikaa. Silikonin kuivumisaika on suhteessa tuotteen läpimenoaikaan erittäin pitkä, joten sitä lyhentämällä saataisiin tuote virtaamaan tuotannon läpi nopeammin. Tästä tehtiin koejärjestely, jossa tutkittiin, vaikuttaako lämpötila silikonin kuivumisaikaan. Kokeeseen otettiin kahdeksan metallin palaa, jotka liimattiin pareiksi yhteen. Kaksi pareista laitettiin lämpökaappiin kuivumaan ja kaksi huoneenlämpöön. Testissä valittiin kaksi eri ajankohtaa, jolloin otettiin yksi pari

lämpökaapista ja yksi pari huoneenlämmöstä. Palat irrotettiin keskenään ja tutkittiin, onko niiden kuivumisasteessa eroa keskenään.



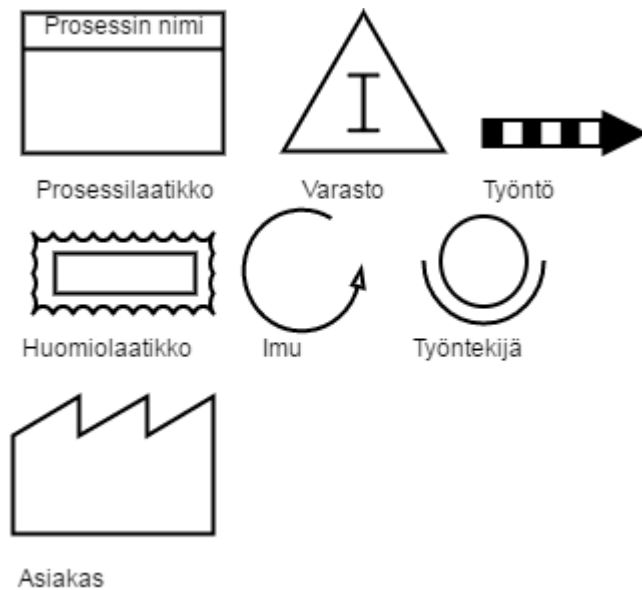
Kuva 3. Silikonit ensimmäisen ajankohdan jälkeen.

Testeissä ei kuitenkaan huomattu mitään eroa lämpökuivauksessa olleiden ja huoneenlämmössä olleiden näytteiden välillä. Tästä syystä silikonin kuivumista ei lähdetty enää tutkimaan insinööriyön puitteissa, sillä nopeaa ratkaisua ongelmaan ei saatu.

#### 4.2 Materiaalivirta

Materiaalivirrassa pyritään mahdollisimman selkeästi symbolein kuvaamaan, miten tuote ja raaka-aineet liikkuvat linjaa pitkin. Arvovirtakartta ei erittele yksittäisiä työvaiheita, mutta prosessit on jaettu ”prosessilaatikoihin” sen mukaan, milloin jatkuva virtaus pysähtyy ja esimerkiksi varasto tulee väliin. Säteilylähdetuotannossa prosessilaatikoihin voidaan jakaa sellaisten työvaiheiden kokonaisuudet, jotka tehdään yleensä peräkkäin ilman keskeytyksiä. Nykytilan karttaan niitä saatiin 17, joiden lisäksi on esimerkiksi korjausprosesseja, joita tulee vain välillä. Itse kokoonpanoon liittyy 7 prosessia. Prosessilaatikkoon merkitään aina prosessin nimi ja yleensä henkilömäärä, kuinka monta henkilöä tarvitaan prosessin läpikäyntiin.





Kuva 4. Materiaalivirrassa käytetyt symbolit

Varastoista käytetään kolmiosymbolia. Varastot voivat olla hyllyjä, fyysisiä varastoiksi tarkoitettuja alueita tai vaikka paikallisia työpöytiä tai kärryjä. Varasto syntyy aina, kun virtaus pysähtyy ja tuote jää odottamaan jalostumista eteenpäin.

Työntöä merkitään raidallisella nuolella. Työntö tarkoittaa kahden prosessin tai kahden varaston välissä olevaa materiaalivirtaa, joka liikkuu niin, että edellinen prosessi työntää tavaraa seuraavaan. Työnnössä on kuitenkin ongelmia. Työntö aiheutuu siitä, ettei seuraava prosessi tarvitse tavaraa. Työnnössä vastataan väkisin seuraavan prosessin tarpeisiin, vaikkei tarpeita olisikaan. Tämä aiheuttaa ylituotantoa ja turhia varastoja. Työnnön syy on yleensä epätasaisessa tuotantotahdissa ja liian suurissa eräkoossa.

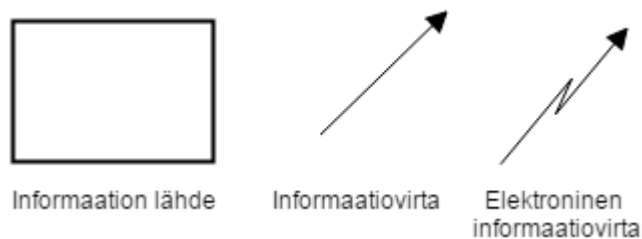
Arvovirtakarttaan merkitään huomiolaatikoita lisäinformaatiota varten. Huomiolaatikkoon kerätään tietoa sellaisista asioista, jotka vaativat erityistä huomiota ja joita ei pystytä muuten kartasta erottamaan. Huomiolaatikkoon voidaan esimerkiksi laittaa tietoa nykytilan keskeneräisestä tuotannosta.

Imu merkitään kiertävällä nuolella. Imuksi sanotaan sellaista materiaalivirtaa, joka liikkuu niin, että seuraava prosessi tarvitsee edellistä. Työnnön ja imun välinen ero on erittäin tärkeä, sillä imussa materiaali liikkuu juuri seuraavan prosessin tarpeen mukaan, kun työnnössä taas materiaali pakotetaan seuraavaan prosessiin.

Asiakas-symbolilla voidaan merkitä joko tuotteen loppuasiakasta tai sisäistä asiakasta. Säteilylähdetuotanto tekee säteilylähteitä sisäisen asiakkaan tarpeisiin, joka on toisessa kerroksessa sijaitseva hammasröntgenlaitetuotantolinja. Asiakkaan tarve määritellään siis sisäisen asiakkaan tarpeen mukaan, mutta on silti kytköksissä loppuasiakkaan tarpeeseen eli hammaslääkäriklinikoiden. [5, s. 20-24.]

#### 4.3 Informaatiiovirta

Informaatiiovirta havainnollistaa tiedon kulun tuotantolinjan sisällä. Sitä pitkin liikkuu tieto siitä, mitä eri prosessien täytyy valmistaa tai tehdä seuraavaksi. Lean-tuotantoprosesseissa informaatiiovirta on yhtä tärkeää ottaa huomioon kuin materiaalivirta, sillä prosessien täytyy tehdä vain sellaisia asioita, joita kyseisellä hetkellä tarvitaan.



Kuva 5. Informaatiovirrassa käytetyt symbolit

Informaation lähteenä voi olla henkilö, tietojärjestelmä, visuaalinen ohje tai mikä tahansa, joka antaa tietoa prosessille. Tavallisen informaatiovirran ja elektronisen informaatiovirran erona on se, että elektronisessa informaatiovirrassa tieto kulkee tietojärjestelmää pitkin. [5 s.3.]

Yrityksessä toimii päätietojärjestelmä, jonne kirjataan tieto siitä, mitä asiakas on tilannut ja milloin. Säteilylähdetuotanto toimii yrityksessä ns. minitehtaana, joka toimii osana hammasröntgenlaitteen tuotantoa. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen säteilylähde menee osaksi hammasröntgenlaitetta ja niiden tarve määritellään tilattujen hammasröntgenlaitteiden mukaan. Varsinainen loppuasiakkaiden tilauskanta ei näy suoraan säteilylähdetuotantolinjalle vaan hammasröntgenlaitetuotannon esimiehet kertovat viikkotavoitteen säteilylähdetuotannon esimiehelle. Esimies kirjaa tavoitteen valkotaululle, josta seurataan tavoitteen täyttymistä joka aamu aamupalaverissa.

Valkotaululla on päivätavoite tuotannolle ja testaukselle erikseen. Tuotannon päivätavoitteessa seurataan, kuinka monta säteilylähdettä tuotantolinjan kolmaspäävaihe kuittaa valmiiksi. Testauksen päivätavoitteessa seurataan, kuinka monta säteilylähdettä on valmiina toimitettavaksi sisäisen asiakkaan käyttöön eli hammasröntgenlaitelinjalle. Tuotannon kolmaspäävaihe ja testaus ovat suoraan elektronisesti yhdistettynä yrityksen päätietojärjestelmään, jonka kautta säteilylähdetuotannon esimies saa tiedon tavoitteiden täyttymisestä. Muuta elektronista informaatiovirtaa löytyy säteilylähteen suuntauksesta, jossa tallennetaan suuntauskuva yrityksen M-asemalle.

#### 4.4 Säteilylähdetuotannon nykytilan arvovirtakartan tekeminen

Arvovirtakartan tekeminen aloitettiin tutustumalla tuotantoon. Tuotantoon tutustuminen on tehokkain tapa saada viime käden tietoa, miten prosessit juuri sillä hetkellä toimivat. Muutaman päivän ajan tietoa kerättiin tuotantolinjalta eri työvaiheista, varastopaikoista, ergonomiasta ja informaation kulusta kirjottamalla ja piirtämällä prosessin vaiheet käsin vihkoon. [5, s. 10.]

Työntekijöiden eri työvaiheita seurattiin vierestä ja opeteltiin myös itse kokoamaan säteilylähdettä. Muutaman viikon harjoittelun jälkeen pidettiin työntekijöiden ja projektitiimin kanssa yhteinen palaveri, jossa rakennettiin runko nykytilan arvovirtakartalle. Runkoon merkittiin aluksi materiaalin liikkuminen varastosta toiseen, tuotteen liikkuminen työvaiheesta toiseen ja lopuksi tuotteen liikkuminen testiketjun lävitse sisäiselle asiakkaalle. Yhtä vaiheita merkittiin omilla post it -lapuilla.

Rungon kasaamisen jälkeen tehtiin porukalla kierros tuotantolinjan läpi, jolloin kirjattiin tiedot ylös kaikesta keskeneräisestä tuotannosta, viallisista tuotteista ja välivarastoista. Tämän jälkeen arvovirtakarttaan merkittiin omina informaatiolaatikkoinaan kunkin vaiheen sen hetkiset tiedot. Materiaalin liikkumista havainnollistettiin kartassa imu- ja työntösymbolein ja informaatiovirtaa erilaisilla nuolilla.

Lopuksi käytiin vielä tuotannossa mittaamassa jokaiseen vaiheeseen kuluva aika älypuhelimien ajastimella. Jokaisesta työvaiheesta on mitattu standardiajat, mutta itse mittaamalla ja tuotantoa seuraamalla saadaan todenmukaisemmat ajat, jotka kuvaavat paremmin juuri tämän hetken tuotantoa. [5, s. 10.]

#### 4.5 Varasto

Säteilylähteen rakentamiseen tarvittavat osat tulevat useilta eri tavarantoimittajilta. Tavarantoimittajat voivat olla eri yritykset tai joissain tapauksissa tavaraa tulee myös talon sisältä, yrityksen omasta koneistamosta. Tavaroiden toimitukselle ei ole yhteistä aikataulua tai toimitusmäärää, vaan kukin toimittaja toimittaa osat sen mukaan, kun varastosta osia tilataan. Varastoissa on omat henkilöresurssit tavaroiden tilaamista, purkamista ja lajittelua varten.

Varastoketjussa projektin kannalta tärkeimmät osat ovat tuotannon varasto ja linjan sisäinen varasto. Tuotannon varastoon on muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta varastoitu kaikki säteilylähteen kokoonpanoon tarvittavat osat. Sen sijainti on lähellä tuotantolinjaa.

Tuotannon varastoa hoitaa yksi varastotyöntekijä, jonka tehtävänä on huolehtia, että varastossa on aina tarvittavia osia. Osat tulevat toimittajalta yleensä isoina erinä pahvilaatikoissa ja varastotyöntekijä avaa pahvilaatit ja vie ne omille hyllypaikoilleen. Itse osien purkamisen linjoilla oleviin laatikoihin tekee linjatyöntekijä. Varastotyöntekijä käy jatkuvasti katsomassa silmämääräisesti, mitä osia tarvitaan, ja tekee tilauksen sen perusteella.

Linjan sisäinen varasto sijaitsee tuotantolinjan kanssa samoissa tiloissa ja siitä vastaavat linjan työntekijät. Työntekijät hakevat tarvittavia osia tuotantolinjan varastosta pienempiin ESD-laatikoihin. Laatikoihin ei laiteta tavaroita mitään tiettyä määrää, vaan sen verran kuin tiettyjä osia laatikkoon mahtuu. Laatikoita on yleensä kaksi päällekkäin ja osia täytetään laatikoihin aina, kun molemmat laatikot ovat tyhjiä. Laatikot ovat hyllyissä työpöytien lähetyvillä ja niistä otetaan tavaraa sitä mukaan, kun kokoonpano sitä vaatii, joten materiaali virtaa imuna. Muutamia sisäisen varaston tavaroita haetaan myös toisessa kerroksessa olevasta varastosta.



Kuva 6. Varastojärjestelmän materiaalivirta

#### 4.6 Kokoonpanolinja

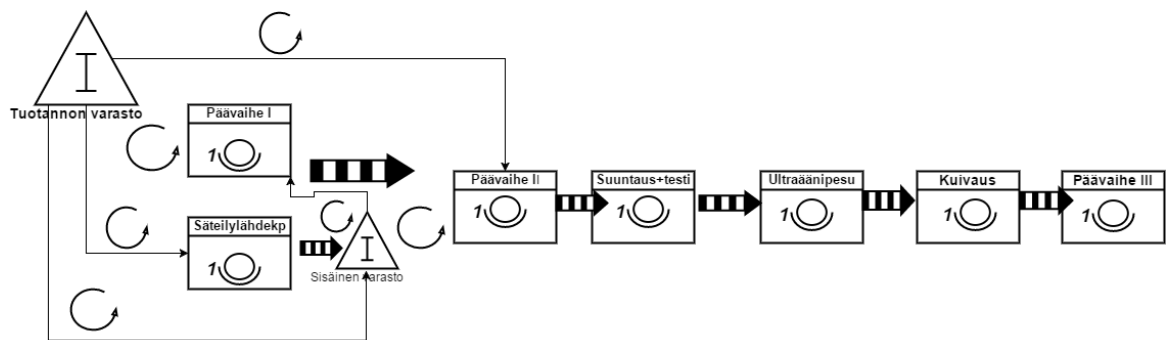
Kokoonpanolinja koostuu kaikista niistä työvaiheista, joissa säteilylähdettä rakennetaan. Kokoonpanolinjalla työntekijä ottaa kokoonpanoon tarvittavat osat linjan sisäisestä varastosta ja tekee työpöydällä osakoonnoksen. Kokoonpanolinja on jaettu niin, että samaa työvaihetta voi tehdä suuntausta ja säteilylähdekokoonpanoa lukuunottamatta kahdella eri pöydällä. Näin ollen samaa työvaihetta pystyy kaksi eri työntekijää tekemään. Yhteen vaiheeseen tarvitaan kuitenkin vain yksi työntekijä.

Kokoonpano koostuu kolmesta päävaiheesta, säteilylähteen suuntaamisesta, pesuprosessista ja säteilylähdekokoonpanosta. Säteilylähdekokoonpanoa voidaan pitää ns. alikokoonpanona, koska sitä tehdään noin 35-50 kpl:een erissä, joka on huomattavasti enemmän kuin muiden prosessien eräkoot. Alikokoonpano syöttää tavaraa linjan sisäiseen varastoon eikä suoraan tuotantolinjalle. Alikokoonpanossa itse säteilylähde valmistellaan liitettäväksi kokoonpanoon. Työ tehdään omassa työpisteessä erillään muusta linjasta. Ensimmäisessä päävaiheessa kootaan säteilylähteen sisäinen elektroniikka. Toisessa päävaiheessa liitetään elektroniikka ja säteilylähde yhteiseen koteloon ja lopuksi kolmannessa päävaiheessa suljetaan ja tiivistetään säteilylähteen kotelo. Säteilylähteen suuntaus ja elektroniikan testaaminen tehdään toisen päävaiheen jälkeen, sillä tässä vaiheessa saadaan mahdolliset viat kiinni. Suuntaamisen ja testaamisen jälkeen säteilylähde pestään ultraäänipesukoneessa.

Materiaali virtaa imuna varastoista kokoonpanolinjalle. Osan koosta riippuen kokoonpanolinja käyttää joko tuotannon varastoa tai linjan sisäistä varastoa. Isommat osat, kuten kotelo, haetaan tuotannon varastosta noin 4-8 kpl:een erissä, kun taas pienemmät osat, kuten muuntajat, haetaan ensin tuotannon varastosta isoissa erissä linjan sisäiseen varastoon ja siitä käytetään linjan tarpeisiin 4-8 kpl:een erissä.

Itse tuote jalostuu kokoonpanolinjan läpi lähes kokonaan työntönä. Kokoonpanoa tehdään 4-8 kpl:een erissä ja se työnnetään seuraavaan työvaiheeseen ilman, että työvaiheen tarvetta on selvitetty. Tämä aiheuttaa sen, että jokaisen työvaiheen väliin syntyy pieni välivarasto, jossa jokin erä odottaa pääsyään seuraavaan prosessiin. Välivarastoina käytetään yleisesti kärryjä. Tällä tavoin pääsee helposti syntymään ylituotantoa, joka aiheuttaa sen, että suuri määrä yrityksen pääomaa on sitoutuneena tuotteisiin, joille ei vielä ole edes asiakasta.

Kokoonpanotyö tehdään tavallisilla työpöydillä istuvillaan. Tuoleina ovat tavalliset toimistotuolit, joissa on korkeussäätö.



Kuva 7. Havainnekuva kokoonpanon materiaalivirran etenemisestä.

Kokoonpanolinja saa tiedon tarvittavasta tuotantomäärästä linjan ulkopuolella sijaitsevan valkotaulun kautta, johon työnjohtaja kirjaa viikottain asiakkaan tarpeen ja esittää päivätavoitteet. Joka aamu käydään kaikkien työntekijöiden kanssa läpi yhteisesti edellisen päivän tuotantomäärä visuaalisesti ja verrataan sitä tavoitteeseen.

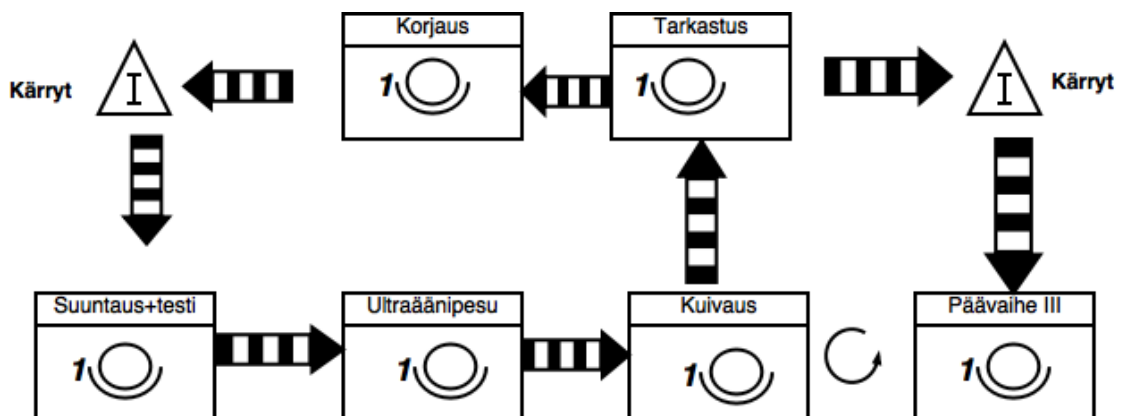
#### 4.7 Pesu- ja kuivausprosessit

Kokoonpanolinjalle kuuluu tuotteen peseminen ultraäänipesukoneessa. Ensimmäisessä päävaiheessa eli elektroniikan kokoamisessa juotetaan johtoja ja komponentteja kiinni toisiinsa, mikä aiheuttaa epäpuhtauksia, kuten tinaroiskeita röntgenputken pintaan. Tämän vuoksi tuote pestään ennen kuin se lopullisesti suljetaan viimeisessä päävaiheessa. Pesussa likaa irrottavat pienet kavitaatiokuplat, jotka muodostuvat ultraäänien vaikutuksesta. Ultraäänipesu on erittäin tarkka pesumenetelmä, sillä se poistaa pienimmätkin hiukkaset. [7.]

Ultraäänipesun jälkeen osakoonnos laitetaan lämpökaappiin kuivumaan 60 celsiusasteen lämpötilaan. Pesuprosessissa pestään myös elektroniikkakomponentit, joten täytyy varmistaa, ettei komponenttien sisään jää vettä läpilyöntien ehkäisemiseksi.

Tuotantolinjan ja pesuprosessin välillä tuote virtaa työntönä, sillä tuotteet pestään heti, kun 8 kappaletta säteilylähteitä on valmiina pestäväksi. Pesuprosessin ja kuivausprosessin välissä materiaalivirtaa myös työntönä, sillä pesu määrittää, milloin

tuote kuivuu, eikä välissä ole välivarastoa. Kuivausprosessin jälkeen säteilylähde etenee työntönä tarkastettavaksi.

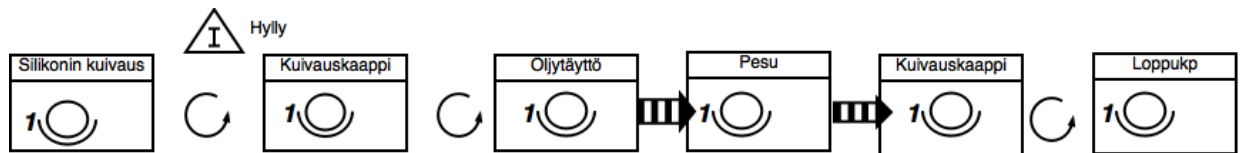


Kuva 8. Havainnekuva pesuprosessista

Tarkastuksen jälkeen tarkastaja määrittelee, onko säteilylähteissä korjattavaa vai ei. Mikäli on, säteilylähde siirtyy linjalle korjausprosessiin ja korjaamisen jälkeen käräyihin odottamaan pääsyä suuntaukseen ja elektroniikkatestiin. Suuntauksen ja elektroniikkatestin jälkeen, tuote siirtyy pesu- ja kuivausprosessin läpi sulkuvaiheeseen. Mikäli tarkastuksessa ei kuitenkaan ilmene mitään erityistä, säteilylähteet siirretään käräyihin, joilla ne viedään sulkuvaiheeseen eli kolmanteen päävaiheeseen.

#### 4.8 Säteilylähteen öljytäyttö

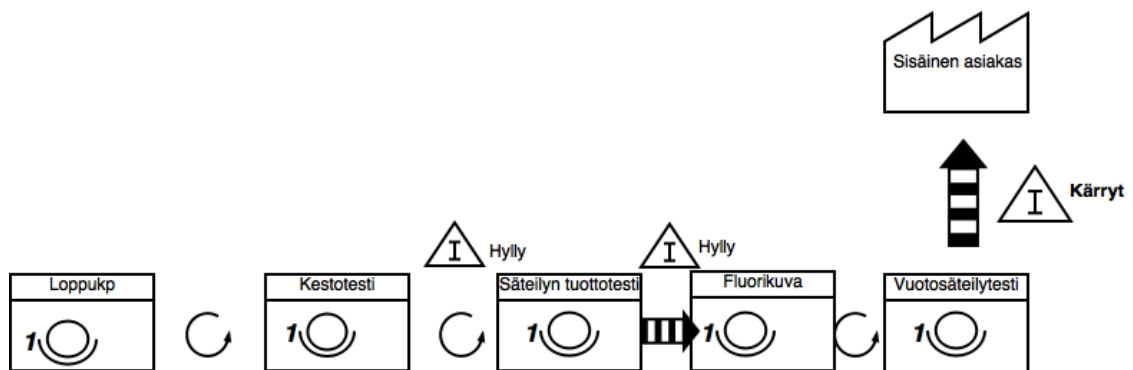
Säteilylähteen öljyn täyttö käsittää 5 prosessia. Kun säteilylähde on suljettu, se viedään hyllyyn odottamaan, että tiivistesilikoni kuivuu. Tämän jälkeen öljyn täyttäjä hakee säteilylähteitä kuivauskaappiin, jossa kuivatetaan viimeisetkin kosteudet pois ja säteilylähde lämmitetään öljytäyttöä varten. Kuivauskaapista säteilylähde viedään öljytäyttöön, jossa se täytetään öljyllä alipaineimulla. Alipaineimun jälkeen öljyn täyttöaukko suljetaan ja tuotteesta pestään ylimääräinen öljy pois pesukoneessa. Pesukoneesta se viedään kuivauskaappiin vielä kerran kuivumaan, sillä vaikka säteilylähde on jo tiivis, sen pinnalla on piirikortti, jossa ei saa olla kosteutta, kun testit aloitetaan.



Kuva 9. Havainnekuva öljytäyttöprosessista.

#### 4.9 Säteilylähteen testaus

Säteilylähteen testaus käsittää 5 prosessia, ja se alkaa loppukokoonpanosta, jossa säteilylähteeseen tulostetaan sarjanumerotarrat ja lisätään vielä muuttuva osa. Loppukokoonpanosta säteilylähde viedään suoraan kestoprofiiliin, joten materiaali virtaa imuna tässä kohdin. Kestoprofiilin suorittamisen jälkeen säteilylähde siirretään hyllyyn odottamaan säteilyn tuottotestiä. Säteilyn tuottotestin jälkeen säteilylähde joko siirretään suoraan fluorikuvaan tai jätetään hyllyyn odottamaan fluorikuvan ottamista. Fluorikuvan ottamisen jälkeen säteilylähde siirretään vielä vuotosäteilytestiin, jonka jälkeen säteilylähde on valmis toimitettavaksi sisäiselle asiakkaalle. Säteilylähde siirretään karruun, josta se haetaan toisen kerroksen tuotantolinjalle.



Kuva 10. Havainnekuva materiaalin etenemisestä testauksessa

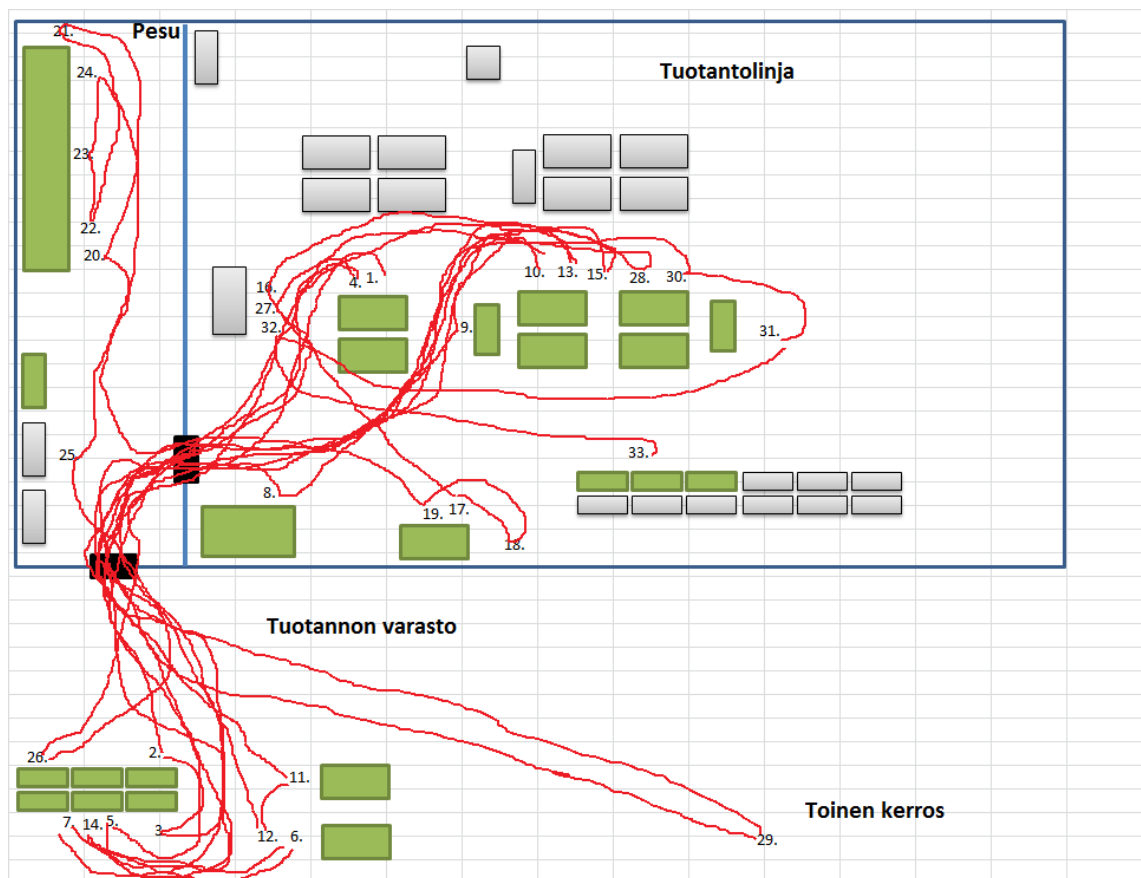
#### 4.10 Spaghettidiagrammi

Spaghettidiagrammi tehtiin kävelemällä työntekijän kanssa kokoonpanolinja läpi. Spaghettidiagrammia tehdessä pyrittiin saada mahdollisimman todennukainen kuva tavarankäytön ja ihmisen liikkumisesta linjalla, joten lähdettiin oletuksesta, että kaikki tuotantolinjan tavarat on ensin haettava varastosta ennen kuin kukin tuotantovaihe voi



alkaa. Tämä vastasi erittäin hyvin nykytilaa, sillä työntekijät itse hakevat tarvitsemansa tavarat.

Kävellessä laskettiin askelia ja piirrettiin samalla karttaa. Melko pian huomattiin, että paras tapa on laskea askelet ”manuaalisesti” eli päässä, koska älypuhelimien askelmittarit olivat melko epätarkkoja. Lopuksi askeleen pituus mitattiin niin, että ensin mitattiin 10 metrin matka ja laskettiin siinä astuttujen askelten lukumäärä. Tämän jälkeen laskettiin askelen pituus jakamalla 10 metriä askelten lukumäärällä. Viimeisenä laskettiin koko linjalla kuljettu matka kertomalla kokonaisaskelmäärä askeleen pituudella.



Kuva 11. Havainnekuva kokoonpanon spaghettidiagrammista.

Spaghettidiagrammilla saatiin todella havainnoillinen kuva työntekijän liikkumisesta linjalla. Eniten askelia otettiin tuotannon varastoon ja linjalla käveltiin lähes jokaisessa vaiheessa edes takaisin linjan ja varaston väliä.

Askelia mitattiin 827 kpl ja askelen pituudeksi saatiin 0,71 metriä, joka on melko lähellä keskimääräistä askelen pituutta. [8.] Nykytilassa kävellään kokonaisuudessaan 590,7 metriä, jotta saadaan yksi tuote virtaamaan kokoonpanolinjan lävitse.

#### 4.11 Nykytilan arvovirtakartan yhteenveto

Liitteessä 4 on nykytilan arvovirtakartta kokonaisuudessaan ja liitteessä 3 on nykytilan arvovirtakartta rajattu kokoonpanolinjaan.

Nykytilaa analysoitaessa käytiin läpi kaikki kokoonpanolinjaan vaikuttavat prosessit ja ne on käyty läpi edellisessä kappaleessa. Tuotantolinjasta löydettiin paljon lean-ajattelumallin mukaisia hukkia ja niiden kaikkien ratkaisemiseen vaadittaisiin keskittymistä hukkien juurisyihin, joihin ei kaikkiin työnpuitteissa aika riitä. Suurimmat ongelmakohdat löydettiin varastoinnista ja ylituotannosta, jotka vaikuttavat suurilta osin siihen, ettei linja pysty kunnolla vastaamaan asiakaskysyntään. Informaatiovirrassakin on paljon epäkohtia, koska tuotanto ei ala asiakkaan kysynnästä vaan kokoonpano suljetaan asiakaskysynnän mukaan. Tämä aiheuttaa paljon keskeneräistä tuotantoa, koska jatkuvasti aloitetaan enemmän kokoonpanoja kuin niitä lopetetaan.

4-8 kappaleen eräkoot pidentävät myös läpimenoaikaa, koska jokainen tuote pääsee seuraavaan prosessiin vasta, kun koko erä on tehty. Suuri erä koko aiheuttaa myös varastoja, sillä tehdään kokoajan enemmän kuin seuraava prosessi ehtii tekemään. Materiaali siirtyy myös monen erilaisen varaston läpi ennen kuin se saapuu lopulta tuotantotyöntekijöiden käytettäväksi.

Työntekijät työskentelevät työpisteillä, joissa ei ole pöydissä korkeussäätöä. Tämä estää seisomatyönteon.

## 5 Ideaaliprosessi

Ideaaliprosessi on sellainen tulevaisuuden tila, jota tavoitellaan. Se voi olla kuitenkin tällä hetkellä yrityksessä todella epärealistinen, mutta sen tarkoituksena on kuvata ihannetilaa. Sen avulla saadaan selville lisää mahdollisuuksia, joita reaaliprosessissa voidaan ottaa huomioon. Ideaaliprosessin ja reaaliprosessin erona on se, että

ideaaliprosessi kuvaa pitkällä tulevaisuudessa olevaa prosessin tilaa ja reaaliprosessi kuvaa sellaista tilaa, joka on lähitulevaisuudessa saavutettavissa niillä resursseilla, joita tällä hetkellä on käytettävissä. Käytännössä ideaaliprosessin resurssit ovat rajoittamattomat. Ideaaliprosessit rajattiin siihen asti, kun tuote menee testaukseen.

Ideaaliprosessit luotiin tuotannosta ulkopuolella ryhmätöinä, joihin osallistui työnjohtaja, projekti-insinööri, insinööriopiskelija, kolme tuotantotyöntekijää ja kaksi menetelmäsuunnittelijaa. Ideaaliprosessit luotiin ryhmätöinä, koska jokaisen osapuolen mielipidettä haluttiin kuulla. Ryhmiä luotiin kolme ja prosessien luomiseen annettiin 15 minuuttia, jonka jälkeen ryhmät esittelivät tuloksensa koko tiimille.

Tuloksena saatiin kolme hieman erilaista ideaaliprosessia, joille kaikille arvioitiin läpimenoaika. Tätä läpimenoaikaa verrattiin vastaavaan nykytilan läpimenoaikaan  $t_{ennentestiä}$ .

$$\frac{t(ennentestiä) - t(ideaaliprosessi1)}{t(ennentestiä)} \times 100\% = 99,6 \%$$

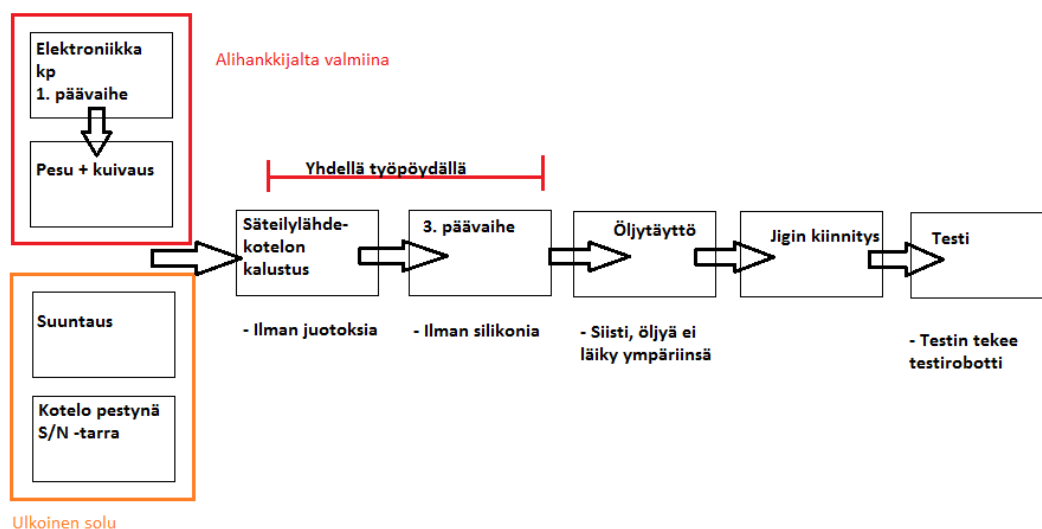
$$\frac{t(ennentestiä) - t(ideaaliprosessi2)}{t(ennentestiä)} \times 100\% = 98,8\%$$

$$\frac{t(ennentestiä) - t(ideaaliprosessi3)}{t(ennentestiä)} \times 100\% = 99,4 \%$$

*Yrityssalaisuuden säilyttämiseksi tarkat ajat on jätetty pois.*

## 5.1 Ideaaliprosessi I

Ensimmäisessä ideaaliprosessissa suunniteltiin 1. päävaihe eli elektroniikkakokoonpano sekä kyseisen kokoonpanon pesu ja kuivaus ulkoistettavaksi toimenpiteeksi tavaran toimittajalle. Näin ollen pesu- ja kuivausprosessit eivät tuota lisätyötä ja hukkaa projektin kokoonpanossa.



Kuva 12. Ideaaliprosessi I

Säteilylähteen kotelon pesu, sarjanumerotarran kiinnitys ja suuntaaminen siirrettäisiin alikokoonpanoksi päälinjan ulkopuolelle. Tästä seuraa, että päälinjan ensimmäiseen vaiheeseen olisi varastossa aina suunnattuja säteilylähteitä ja puhtaita koteloida, joissa on sarjanumerotarra kiinni.

Tuote jalostuisi päälinjalla vaihe vaiheelta – ensin koteloon laitetaan elektroniikka sisään (2. päävaihe) , sitten tehdään 3. päävaihe eli suljetaan säteilylähde, sen jälkeen täytetään säteilylähde öljyllä, sitten säteilylähde kiinnitetään jigiin, josta se menee testausrobotille testattavaksi.

Säteilylähteen kotelon kalustamisessa ei käytettäisi juotoksia, vaan kaikki kiinnitykset tulisivat klipseillä tai ruuveilla. Seuraavaksi tuote siirrettäisiin 3. päävaiheeseen eli säteilylähteen sulkemiseen. Kaikki osat olisivat pestyjä jo ennen linjalle tuloa, joten pesua ei tarvitse tehdä enää tässä vaiheessa. Juotoksiakaan ei enää tehdä, joten niistä ei siirry epäpuhtauksia tuotteeseen. Säteilylähde suljetaan ja tiivistetään ilman silikonä, esimerkiksi tiivistysrenkaiden avulla, joten turhaa aikaa ei mene silikonin kuivumiseen.

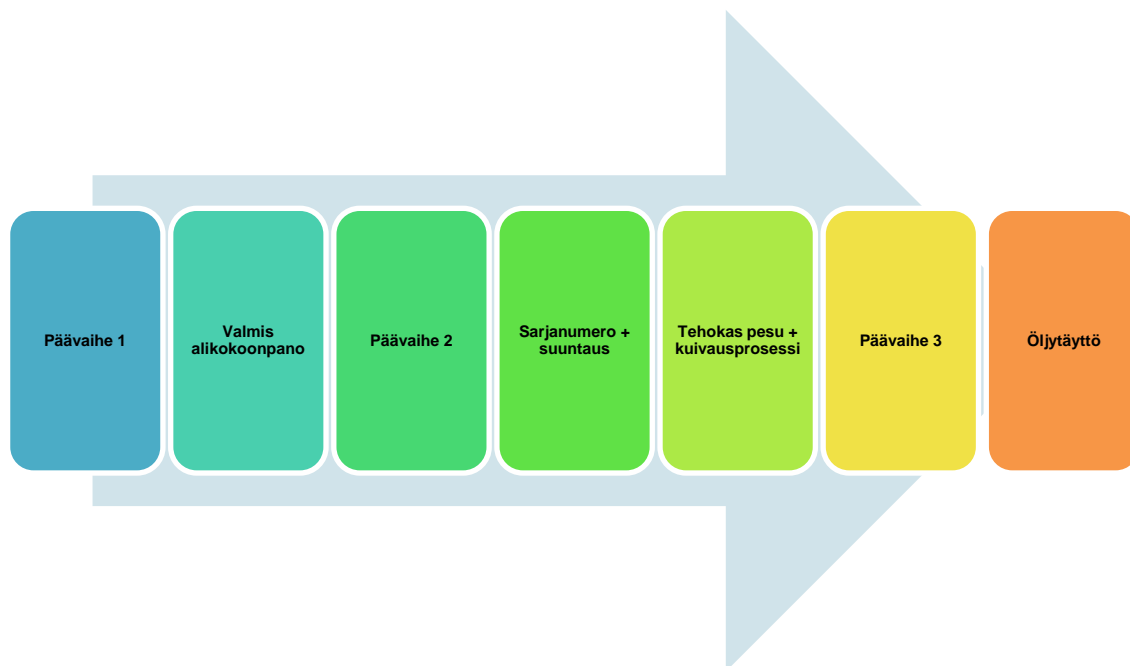
Tuote pääsee suoraan öljytäyttöön ja välissä ei tarvita enää lämmittämistä, sillä sulkukorkkiin on lisätty venttiili, jonka avulla turha ilma saadaan ulos ja öljy tiiviisti säteilylähteen sisään. Prosessi on myös tehty siistiksi suojaamalla säteilylähde, joten säteilylähteen pesuakaan ei enää tarvitsisi tehdä öljyn täytön jälkeen. Kaikissa

päävaiheissa on tehty tarvittavat osakoonnokset, joten säteilylähde voidaan lopuksi vain kiinnittää testausjigiin ja antaa testausrobotille testattavaksi.

Tavara liikkuisi linjalle hypermarket-periaatteella eli varastotyöntekijä toisi tarvittavia osia linjalle purettuina laatikoissa ja mitään työntekijän ei tarvitsisi hakea itse. Laatikoita olisi kaksi ja aina kun toinen laatikko tyhjenee, varastotyöntekijä hakee sen ja täyttää.

## 5.2 Ideaaliprosessi II

Toisessa ideaaliprosessissa päävaiheet ja öljytäyttö ovat samanlaisia kuin nykytilassakin. Alikokoonpano pysyy myös samanlaisena kuin nykytilassa, mutta se on erotettu omaksi alikokoonpanosolukseksi, josta päävaihe 1:n jälkeen tulee valmis alikokoonpano päälinjalle. Näin säästetään se aika, joka nykytilassa menisi alikokoonpanoon.



Kuva 13. Havainnekuva toisesta ideaaliprosessista.

Päävaihe 2 tehdään kuten nykytilassa, mutta ideaaliprosessissa siihen tulevat osat ovat käyneet läpi tarkastuksen, jonka ansiosta jokaista osaa voi suoraan pitää hyvänä ja turhia laaduntarkastuksia ei enää tarvita. Seuraavassa vaiheessa tulostetaan osakoonnokseen sarjanumero ja säteilylähde suunnataan oikeaan asentoon. Tässä

vaiheessa ei tarvita enää hakkuritestä, joka suoritetaan nykytilassa. Tämä johtuu siitä, että osat ovat jo kertaalleen testattu ja todettu hyväksi, joten hakkuritestä ei tarvita enää laaduntarkastukseksi.

Prosessissa olisi edelleen juotoksia, joten pesu on vieläkin tarpeen. Pesulinja on kuitenkin suunniteltu tehokkaammaksi niin, että pestävät tuotteet kuivataan heti, joten ne saadaan myös heti käyttöön. Näin saadaan eliminoidua turhat kuivumisajat.

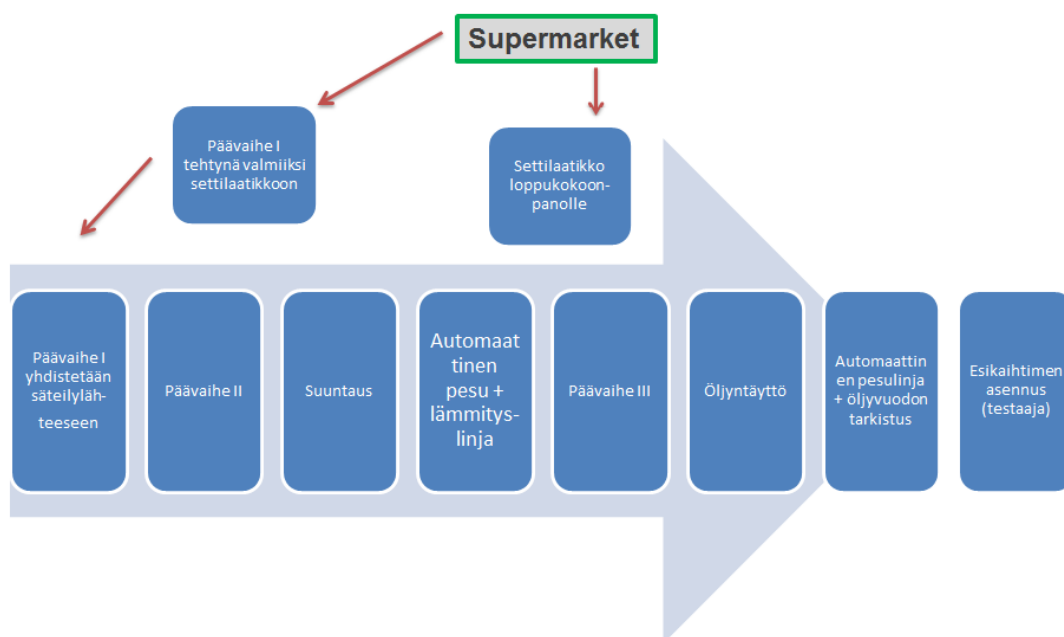
Päävaihe 3 voidaan suorittaa saman tien pesun jälkeen. Päävaihe 3:ssa säteilylähde suljetaan ja tiivistämiseen käytettäisiin nopeasti kovettuvaa silikonista tai tiivisterengasta. Silikonin kuivumista ei tarvitsisi odottaa, ja tuote pääsisi öljytäyttöön suoraan. Tästä eteenpäin prosessi säilyisi nykyisen kaltaisena eli säteilylähde lämmitettäisiin, täytettäisiin öljyllä, ja se jatkaisi loppukokoonpanon kautta testaukseen.

### 5.3 Ideaaliprosessi III

Kolmannessa ideaaliprosessissa päävaihe I eli elektroniikkakokoonpano tehdään ulkoisena työvaiheena päälinjasta erotettuna. Se ainoastaan yhdistetään säteilylähteeseen päälinjalla, jonka jälkeen siirrytään tekemään päävaihe II:sta, joka on samanlainen kuin nykyisessä prosessissa. Tämän jälkeen säteilylähde suunnataan, ja se siirtyy automaattiseen pesu-, kuivaus- ja lämmityslinjaan. Tuleksaan ulos linjalta, säteilylähde on suoraan valmis suljettavaksi päävaihe III:ssa, jossa ei käytetä silikonista vaan tiivistysrenkaita. Päävaihe III olisi kestoltaan niin lyhyt, ettei säteilylähde ehtisi kamalasti jäähtyä, vaan se voidaan suoraan siirtää öljyn täyttöön.

Öljyn täytöstä säteilylähde siirtyy uudelleen pesuun, jossa se myös kuivataan ja lämmitetään, jotta saadaan mahdolliset öljyvuodot selville. Lopuksi säteilylähde siirtyy testaajalle, joka asentaa siihen esikaihimen ja antaa eteenpäin testausrobotille.

Tavara liikkuu settiajatteluperiaatteella eli linjan ulkoinen työntekijä syöttää linjalle tavaraa valmiissa settilaatikoissa. Linjalla ei olisi siis turhia laatikoita jokaiselle eri osalle, vaan kaikki osat ruuveja myöten tulisi valmiissa seteissä.



Kuva 14. Havainnekuva kolmannesta ideaaliprosessista.

## 6 Reaaliprosessi

Nykytilan arvovirtakartoituksen yhteydessä todettiin, että nykyisessä kokoonpanolinjassa on paljon ylituotantoa. Jokainen työvaihe tuottaa kerralla isoja määriä kokoonpanoja, huolimatta siitä mikä on asiakkaan tai seuraavan solun tarve. Tällainen massatuotanto aiheuttaa sen, että linjalla on jatkuvasti keskeneräisiä osia, joilla ei ole vielä asiakasta, joita ei voida vielä käyttää asiakkaan tarpeisiin ja joita ei voida kuitenkaan palauttaa tavaran toimittajalle, mikäli osaa ei tarvitsekaan tehdä. Ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan yhden kappaleen virtauksella, jossa kokoonpanolinja valmistaa ainoastaan yhden kappaleen eräkokoja.

Yhden kappaleen virtausta aloitettiin ohjaamaan materiaalivirralla, jossa kokoonpanoon tarvittava materiaali tulee linjalle settilaatikoissa. Settilaatikkoon on valmiiksi varastosta kerätty kokoonpanoon tarvittavat osat ja yhdessä settilaatikossa on ainoastaan yhteen kokoonpanoon tarvittavia osia. Tämä rajoittaa ja ohjaa eräkokoja erittäin vahvasti, sillä linjalla ei pystytä tekemään kuin yksi kokoonpano kerrallaan, koska osia ei ole kuin yhteen kokoonpanoon. Setti virtaa linjaa pitkin kokoonpanon kanssa, joten settilaatikko on täynnä, kun se tulee linjalle ja tyhjä, kun kokoonpano on valmis. Linjalla ei siis loju ylimääräisiä osia ja työntekijän on vaikeampi unohtaa laittaa joitain osia kiinni, joten se myös pienentää virheiden mahdollisuutta.

Reaaliprosessissa suunniteltiin käytettäväksi U-solumallia, jossa kokoonpanotyöpisteet on sijoitettu nimensä mukaisesti U:n muotoiseen linjaan. Linja mahdollistaa sen, että kokoonpanon alkupää ja loppupää ovat lähellä toisiaan, jolloin työntekijän ei tarvitse kävellä pitkää matkaa aloittaakseen kokoonpano alusta. Linjalle suunniteltiin sähköisiä työpisteitä, jotka auttavat ergonomian parantamisessa.

## 6.1 Solukokeilu I: päävaihe I ja päävaihe II

Säteilylähdetuotannon ensimmäisen solukokeilun tavoitteeksi asetettiin yhden kappaleen virtauksen tutkiminen ja ergonomian parantaminen tuotannossa. Solukokeilussa testattiin säteilylähteen kokoonpanoa sekä uudella työpisteellä että uudella työtavalla.

Ensimmäinen solukokeilu tehtiin settiajatteluperiaatteella, jossa kokoonpanoon tarvittavat osat tulevat valmiissa settilaatikoissa kokoonpanolinjalle. Tämä mahdollistaa sen, että solutyöntekijä pystyy keskittymään ainoastaan kokoonpanon tekemiseen eikä turhaa aikaa mene osien hakemiseen varastoista. Kaikki kokoonpanoon tarvittavat työkalut ovat myös kokoonpanopöydällä valmiina oikeassa järjestyksessä, joten niiden etsimiseen ja hakemiseen ei mene myöskään aikaa.

Solukokeilu toteutettiin uusilla työpisteillä, joissa on sähköinen korkeussäätö. Tämä mahdollistaa työntekijän seisomisen kokoonpanon aikana ja pöydän saa säädettävä juuri oikealle korkeudelle henkilön pituuden mukaan. Tämä tukee ergonomista työasentoa ja vähentää istumisesta johtuvia selkä- ja rasitusvaivoja.

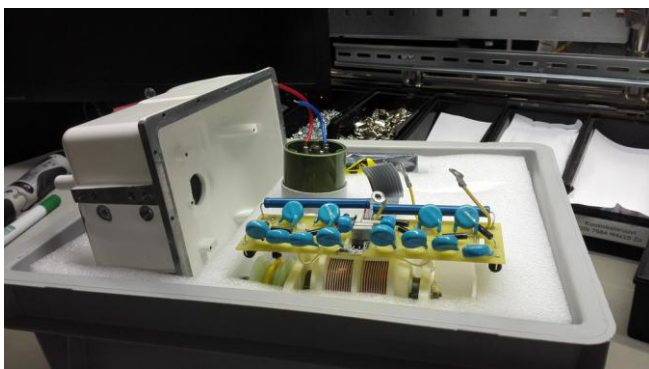
Ennen kokeilua tehtiin yhteisesti virtautustiimin kanssa reaaliprosessi, jota kokeilu mukailee. Säteilylähdekokoonpano jaettiin päävaiheisiin ja alikokoonpanoihin. Päävaiheisiin pyrittiin saamaan ainoastaan sellaista aikaa, joka tuottaa arvoa tuotteeseen. Alikokoonpanot tehdään päälinjan ulkopuolella ja valmiit alikokoonpanot setitetään samaan settilaatikkoon muiden kokoonpanossa tarvittavien osien kanssa. Näin setittäminen, settien tuonti ja alikokoonpanot eivät tuo arvoa tuottamatonta aikaa itse päälinjalle. Alikokoonpanoiksi jaettiin elektroniikan tekeminen, säteilylähteen valmistelu ja säteilylähteen sulkemiseen käytettävän kannen kokoonpano. Tämän lisäksi säteilylähteen suuntaaminen ja kokoonpanon peseminen erotettiin kokeilusolusta.



Päävaiheita on kaksi. Ensimmäisessä päävaiheessa valmis elektroniikka liitetään säteilylähteeseen, säteilylähteen kotelo kalustetaan elektroniikalla ja piirikortti liitetään kiinni kokoonpanoon. Toisessa päävaiheessa kokoonpano suljetaan ja tiivistetään. Päävaiheiden välissä säteilylähde suunnataan ja pestään.

Molemmat päävaiheet kokeiltiin erikseen. Ensin kokeiltiin ensimmäinen päävaihe, joka tehtiin alusta loppuun neljä kertaa niin, että jokaisen kokeilun välissä käytiin läpi, mitä opittiin ja miltä kokeilu tuntui. Jokainen kokeilu kellotettiin alusta loppuun. Solukokeiluun osallistui insinööriyön tekijä, projektityöntekijä ja säteilylähteen kokoonpanon työntekijä. Kokeilussa käytetyt välineet ovat liitteessä 4.

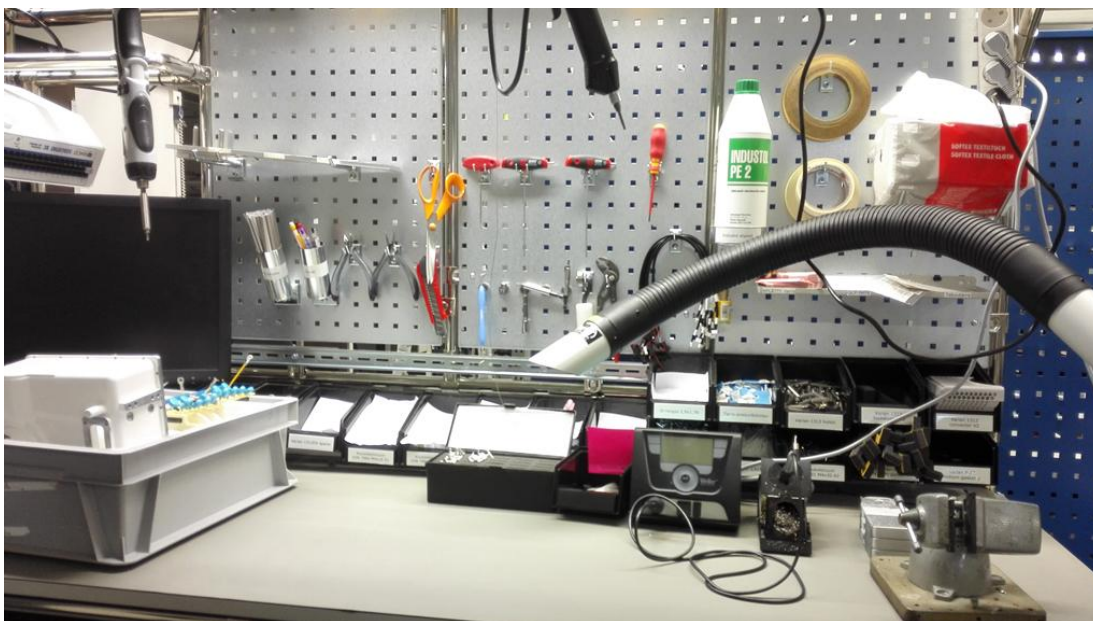
Settilaatikkoon kerättiin osat niin, että ruuvit ja TH\_PVANTEET olivat omassa pienemmässä laatikossa vieressä. Ruuvit lajiteltiin oikeaan järjestykseen kokoonpanon suoritukseen nähden ja laskettiin se määrä, mitä yhteen kokoonpanoon tarvittiin.



Kuva 15. Settilaatikko päävaiheelle I

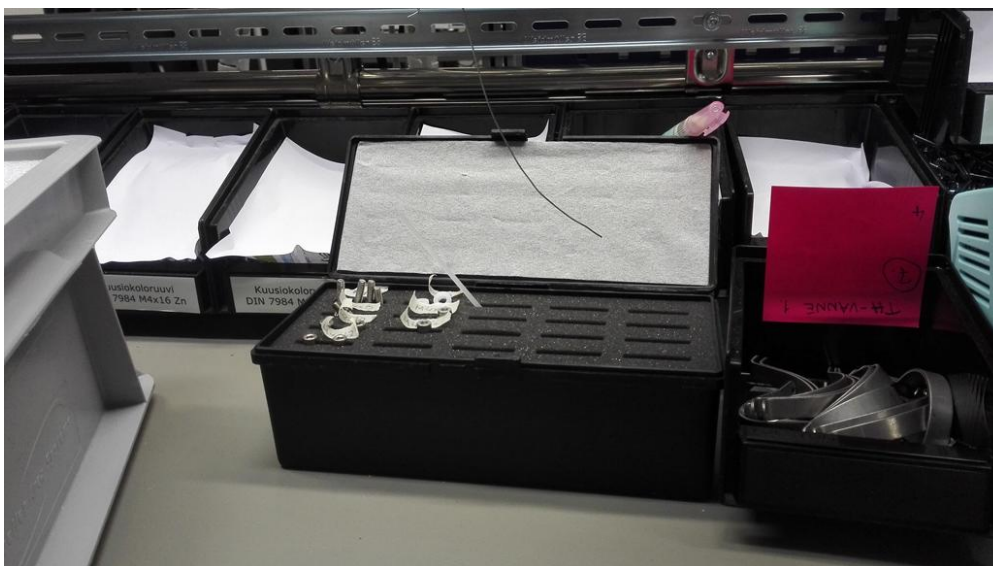
#### 6.1.1 Kokeilujen suoritus päävaiheelle I

Ensimmäinen solukokeilu tehtiin seisoma-asennossa. Sähköinen momenttiväännin ripustettiin roikkumaan työpöydän päällä olevasta telineestä vaijerikelojen avulla. Juotosasema, natikka, settilaatikko ja ruuvisettilaatikko asetettiin työpöydälle. Muut tarvittavat työkalut laitettiin seinälle telineisiin kiinni. Natikka ja sähköinen momenttiväännin asetettiin oikeisiin arvoihin, kolvi lämmitettiin oikeaan lämpötilaan, imuri laitettiin päälle ja pöytä säädettiin sopivalle korkeudelle. Aika aloitettiin mittaamaan siitä, kun työntekijä otti ensimmäisen osan settilaatikosta. Kello suljettiin, kun työntekijä ilmoitti vaiheen olevan valmis.



Kuva 16. Koejärjestely päävaiheelle I

Ensimmäisessä kokeilusta havaittiin, että sähköisen momenttivääntimen johto oli työntekijän tiellä ja momenttiväännintä käytettiin 90 asteen kulmassa kokoonpanoon nähden, joten vaijerikela oli kömpelö ratkaisu, koska vaijeri ei meinannut riittää. Ruuvisettilaatikko siirrettiin myös pois työntekijän tieltä. Työntekijä koki ruuvisettilaatikon olevan hankala ratkaisu, koska ruuveja joutui osittain kaivamaan koloista. Työpöytää ei saatu tarpeeksi korkealle, jotta juottaminen olisi tapahtunut ergonomisessa asennossa. Työpöydän sähköjalkojen maksimipituus ei riittänyt tähän.



Kuva 17. Ruuvilaatikko

Seuraavaan kokeiluun sähköinen momenttiväännin irrotettiin roikkumasta vaijerikelasta ja siirrettiin pöydälle. Ruuvit siirrettiin työpöydällä oleviin ESD-laatikoihin niin, että ne ovat kokoonpanoon nähden oikeassa järjestyksessä ja samanlaiset ruuvit ovat samassa laatikossa. Juottamisasennon ergonomian parantamiseen mietittiin jigiä, joka korottaisi kokoonpanoa. Ajanotto ja muut koejärjestelyt pidettiin samana kuin ensimmäisessä solukokeilussa.

Kokeilussa 2 työkalut havaittiin olevan hankalia ottaa, mikäli ne ovat seinässä kiinni telineissä, sillä telineet irtosivat helposti. Ruuvit olivat paljon helpompia ottaa omista ruuvilaatikoistaan, koska ruuveja ei tarvinnut enää kaivaa pienistä koloista. Tämä osakseen nopeutti kokoonpanoa. Juotokset olivat edelleen epämukavia tehdä seisaalteen, koska työasento oli epäergonominen.



Kuva 18. Ruuvit omissa laatikoissaan

Kolmannessa kokeilussa työkalut irroitettiin seinistä ja asetettiin pöydälle. Pöydälle mietittiin myös mahdollisia omia koloja työkaluille, jotta niiden ottaminen ja laittaminen paikoilleen olisi mahdollisimman yksinkertaista. Työpöytä laskettiin alas, jotta kokoonpanoa voitaisiin testata istuma-asennossa. Työntekijälle otettiin toimistotuoli ja se säädettiin sopivaksi. Ajanotto ja muut koejärjestelyt pidettiin samoina kuin aiemmassa solukokeilussa.

Työkalut saatiin käyttöön helpommin ottamalla ne suoraan pöydältä, sillä niiden mukana ei irtoa pidikkeitä ja niihin ei tarvitse kurkottaa. Havaittiin, että kaikki natikalla kiristettävät ruuvit kiristetään niin, että natikka on pystyasennossa kokoonpanoon nähden. Istuma-asennossa juottaminen tapahtui hyvin ergonomisesti.

Neljännessä kokeilussa natikka ripustettiin vaijerikelalla roikkumaan työpöydän päällä olevasta telineestä, koska ruuvit kiristetään natikan ollessa pystyasennossa kokoonpanoon nähden. Ajanotto ja muut koejärjestelyt pidettiin samoina kuin kolmannessa kokeilussa.

Natikan havaittiin hidastavan työntekoa, mikäli se roikkui vaijerikelasta työpöydän päällä, sillä sen asettelu ruuvin päälle oli vaikeaa.

#### 6.1.2 Suuntaaminen ja elektroniikan testaus

Neljän solukokeilun jälkeen siirryttiin säteilylähdetuotannon testi- ja suuntaustyöpisteelle. Valmiit ensimmäisen päävaiheen kokoonpanot siirrettiin pisteelle kärryjen avulla. Ennen suuntausta ja elektroniikkatestiä säteilylähteiden sarjanumerot kirjattiin tietojärjestelmään. Tiedon kirjaukseen menevää aikaa ei mitattu.

Suuntaus- ja testipisteellä tarvittavat työkalut sijoitettiin pöydälle ja työntekijä istuu työtä tehdessään. Pisteellä ei tehdä kokoonpanoa. Kaikki neljä kokoonpanoa testattiin ja suunnattiin peräkkäin ja prosessiin menevä aika mitattiin samalla tavalla älypuhelimella kuin solukokeilussa. Ajanotto lähti siitä, kun työntekijä nosti ensimmäisen testattavan ja suunnattavan kokoonpanon pöydälle, ja loppui siihen, kun työntekijä laittoi testatun ja suunnattavan kokoonpanon takaisin kärryyn.

Kokoonpanot siirrettiin työpisteeltä ultraäänipesukoneeseen, jonka jälkeen ne siirrettiin kuivauskaappiin kuivumaan. Solukokeilun toinen vaihe aloitettiin, kun kokoonpanot olivat kuivia.



Kuva 19. Suuntaus- ja testaustyöpiste.

Päävaiheen II solukokeiluun tarvittavat välineet ja aineet löytyvät liitteestä 5.

### 6.1.3 Kokeilujen suoritus päävaiheelle II

Kokeilut päävaiheelle II toteutettiin sähköisillä työpisteillä. Kuivuneet kokoonpanot siirrettiin kärryillä testityöpisteille. Päävaiheessa II käytettävät ruuvit siirrettiin oikeisiin ruuvilaatikoihin ja ruuvilaatikot järjesteltiin sen mukaan, missä järjestyksessä ruuveja tarvittiin kokoonpanossa. Momenttiväännin ripustettiin roikkumaan työpisteen yläpuolella olevasta telineestä vaijerikelalla. Silikonipistooli asetettiin roikkumaan telineestä pistoolissa olevan kahvan varaan. Muut työkalut asetettiin työpöydälle työntekijän lähetyville. Aikaa otettiin älypuhelimien ajastimella kuten ensimmäisen päävaiheen kokeilussa. Ajan mittaus aloitettiin siitä, kun työntekijä otti ensimmäisen osan laatikosta ja lopetettiin, kun työntekijä kertoi kokoonpanon olevan valmis. Ensimmäinen kokeilu tehtiin seisoma-asennossa ja pöytä säädettiin sopivalle korkeudelle, jotta työntekijän työasento olisi mahdollisimman ergonominen.

Ensimmäiset ongelmat solukokeilussa havaittiin, kun vanupuikot oli unohdettu ottaa mukaan kokeiluun. Kello suljettiin ja vanupuikot haettiin säteilylähdetuotannosta mukaan. Kello laitettiin takaisin käyntiin, kun vanupuikot saatiin työpöydälle. Seuraavaksi huomattiin, että sädeikkunan kiristystyökalu unohtui ja kello pysäytettiin. Työkalu haettiin säteilylähdetuotannosta. Kello laitettiin takaisin käyntiin, kun työkalu oli pöydällä. Kokeilussa havaittiin, että kansikokoonpano puhdistettiin industolilla, joka vei aikaa solutyöntekijältä. Sähköinen momenttiväännin todettiin jäävän helposti kiinni ruuveihin. Syylliseksi epäiltiin liian terävää kärkeä, sillä testissä käytettiin uutta M4-kärkeä eikä säteilylähdetuotannossa olevaa samanlaista kärkeä.

Toisessa solukokeilussa puhdistettiin kansikokoonpano industolilla ennen kuin se laitettiin settilaatikkoon. Tällä tavoin se ei vie aikaa solutyöntekijältä ja on valmiiksi puhdas linjalle tullessaan. Sähköisen momenttivääntimen kärki vaihdettiin samaan M4 kärkeen kuin putkipäätuotannossa on. Koejärjestely oli muilta osin samanlainen kuin ensimmäisessä solukokeilussa.



Kuva 20. Settilaatikko päävaiheelle II

Toisessa kokeilussa havaittiin, että sädeikkunat, o-renkaat, spacerit ja ikkunamutterit ovat niin pieniä osia, että niitä ei kannata laittaa settilaatikkoon. Niiden setittäminen on työlästä ja toimenpide ei tuo lisäarvoa tuotantosoluun. Sähköinen momenttiväännin havaittiin edelleen jäävän kiinni ruuveihin.

Kolmannessa solukokeilussa sähköinen momenttiväännin vaihdettiin kokonaan samaan, mikä säteilylähdetuotannossa on käytössä. Aikaisemman momenttivääntimen momentti oli todennäköisesti liian suuri, mikä aiheutti ruuvien jäämisen vääntimeen kiinni. Tässä kokeilussa työ tehtiin istualteen ja työpöytä säädettiin sopivan korkuiseksi istumatyön ergonomiia ajatellen. Työntekijälle otettiin kokeiluun mukaan toimistotuoli. Koejärjestely oli muilta osin samanlainen kuin toisessa solukokeilussa.

Solukokeilussa havaittiin, että sähköinen työpöytä vaikuttaa huteralta, kun momenttiavainta käytetään. Sähköinen työpöytä seisoo kahdella pitkällä jalalla, joten kallistuminen eteenpäin on mahdollista. Työpöydän pinta vaikutti melko tahmealta, kun kokoonpanoa jouduttiin kääntämään pöydällä. Käännösten sujuvoittamiseksi mietittiin jigä. Todettiin myös, että päävaihe II:n kokoonpanossa ei ole erityistä eroa seisoma-

ja istuma-asentojen välillä. Työn pystyy tekemään ergonomisesti sähköisellä työpöydällä joko istualteen tai seisaalteen.

Neljännessä kokeilussa ei muutettu koejärjestelyä kolmannesta solukokeilusta. Havaittiin, että kokoonpanon tekeminen nopeutuu, kun työntekijä tottuu uuteen työpisteeseen. Neljän solukokeilun jälkeen vietiin valmiit kokoonpanot säteilylähdetuotantolinjalle ja niihin tulostettiin sulkutarrat. Havaittiin, että sulkutarrojen tulostamiseen käytetty ohjelma tukee useamman kuin yhden tarran tulostamista kerrallaan.

## 6.2 Solukokeilu II: Alikokoonpanosolututkimus

Toisessa solukokeilussa lähdettiin tutkimaan alikokoonpanosolun tarpeellisuutta, sillä alikokoonpanosolu muodostaisi turhia välivarastoja tuotantoon. Tutkimukseen otettiin elektroniikkakokoonpano, jonka vaiheikaa mitattiin ja verrattiin aikaisemmissa työvaiheissa mitattuun aikaan. Elektroniikkakokoonpanon voi ottaa ensimmäiseksi työvaiheeksi kokoonpanosoluun, mikäli sen kokoamiseen menevä aika ei paljoa poikkea muiden työvaiheiden ajoista. Solukokeilussa tutkittiin myös työergonomiaa juottamisen osalta. Kokeiltiin, saadaanko juotosten tekemiseen seisoma-asennossa ergonomista työasentoa projektin aikataulun puitteissa. Kokeiluja tehtiin neljä, samalla tavalla kuin ensimmäisessäkin solukokeilussa.

Toista solukokeilua varten settilaatikko piti suunnitella uudestaan, jotta kaikki elektroniikkakokoonpanoon tarvittavat osat mahtuvat settilaatikkoon. Samalla otettiin huomioon myös settilaatikon paino, sillä esimerkiksi edellisissä kokeilussa settilaatikkossa oleva kalustukseen käytetty kotelo painaa turhan paljon. Uuteen settilaatikkoon valittiin ainoastaan kevyitä osia ja osat järjesteltiin uudelleen niin, että ne ovat loogisesti siinä järjestyksessä kuin ne kokoonpanossa otetaan käyttöön. Ruuvit laitettiin omiin ruuvilaatikoihinsa pöydällä samalla tavalla kuin aiemmissa kokeilussakin. Solukokeilu tehtiin sähköisellä työpöydällä, jotta työergonomiaa pystyttäisiin optimoimaan mahdollisimman hyvin. Uutta sähköisessä työpöydässä oli varrellinen työkalumagneetti, jossa kaikki tarvittavat työvälineet olivat helposti otettavissa ja siirrettävissä.





Kuva 21. Uusi settilaatikko, johon on valittu vain kevyitä osia.

Ennen kokeilun aloittamista kaikki tarvittavat työvälineet tuotiin työpöydälle. Ruuvilaatikot järjesteltiin kokoonpanojärjestykseen ja väännin ripustettiin vaijerikelalla työpöydän yläpuolella olevaan kiskoon. Settilaatikot pinottiin roskakorin päälle ”settitorniksi” ja työpöytä asetettiin työntekijän pituuden mukaan sopivalle korkeudelle. Kokeiluun osallistui samat henkilöt kuin aiemmissa kokeiluissa.



Kuva 22. Testiympäristö



Ensimmäinen kokeilu tehtiin seisoma-asennossa, jotta saataisiin havainnointua millaisiin asioihin pitää kiinnittää huomiota, kun tehdään juotoksia seisaaltaan. Ajanotto aloitettiin, kun työntekijä otti ensimmäisen osan settilaatikosta ja lopetettiin, kun työntekijä sanoi työn olevan valmis. Havaittiin ensimmäisenä, että juotosimuri oli ruuvilaatikoiden tiellä jatkuvasti. Settilaatikkotorni oli myös melko huterä, ja se oli liian matalalla seisomatyötä ajatellen. Mietittiin myös mahdollisuutta, että tietyt osat tulisivat alihankkijalta valmiimpina. Pöytä ei edelleenkään noussut tarpeeksi korkealle, jotta juotokset olisi voitu tehdä ergonomisessa asennossa.



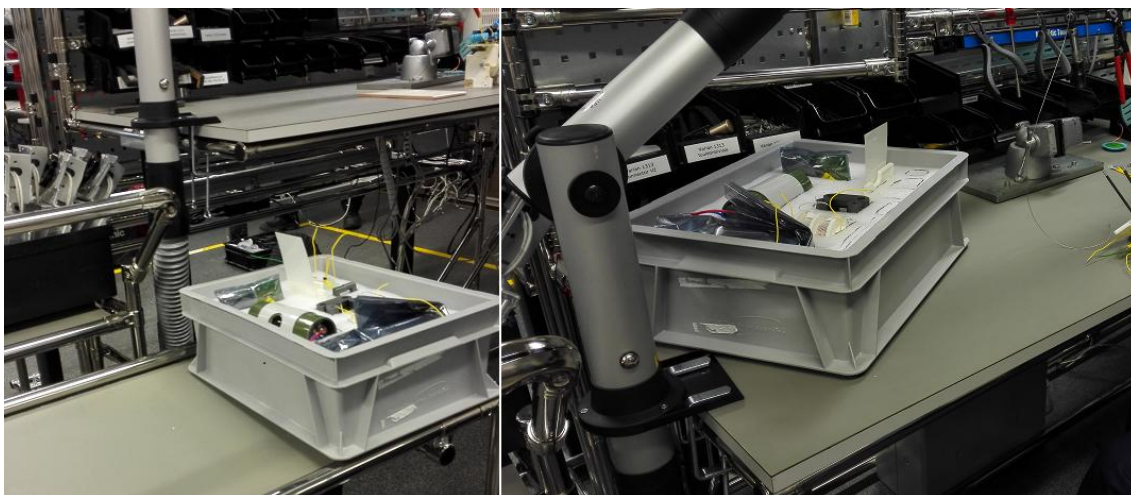
Kuva 23. Settilaatikkotorni

Seuraavaa elektroniikkakokoonpanon kokeilua lähdettiin rakentamaan ensimmäisen kokeilun havaintojen perusteella. Todettiin, ettei juotosimuria saada siirrettyä kokeilun puitteissa paremmalle paikalle, koska se vaatisi koko työpisteen muutosta. Settilaatikon huteruutta saatiin pois siirtämällä settilaatikko tornista kärryyn, joka oli myös hieman korkeammalla. Valmiimpia osia saatiin, kun tinattiin maajohtojen liittimet, jotka ovat realistista saada alihankkijalta valmiina.



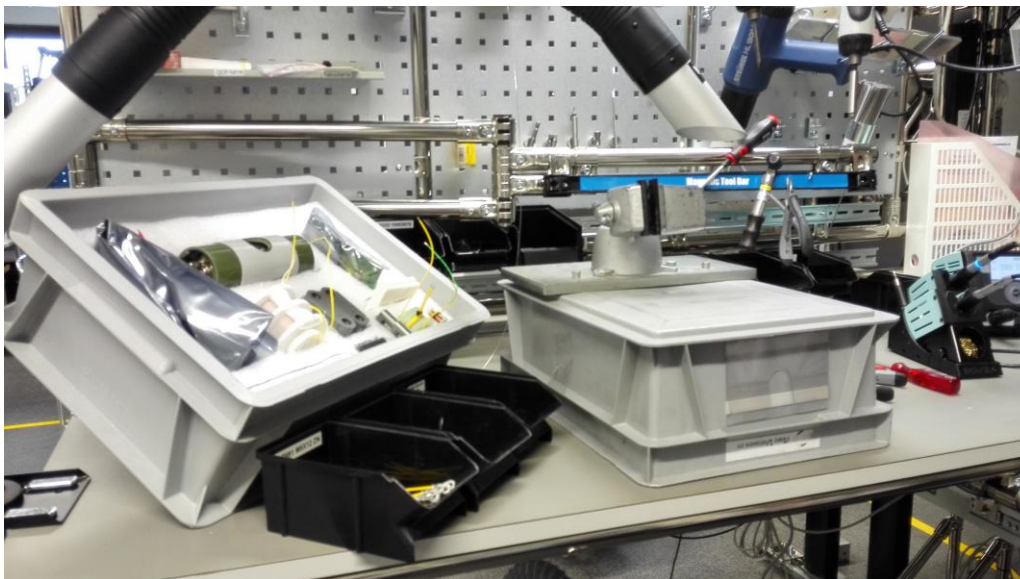
Kuva 24. Maajohtojen liittimet voidaan tinata valmiiksi työn helpottamiseksi.

Kun toista kokeilua lähdettiin suorittamaan, päätettiin, että se tehdään istuma-asennossa. Testiympäristö ja ajanottotapa oli sama kuin ensimmäisessä elektroniikkakokoonpanokokeilussa. Tässä kokeilussa havaittiin, että istuma-asennossa tehtynä settilaatikko on edelleen liian kaukana sivussa ja kuumailmapuhallin sotkeutui jatkuvasti muiden johtojen kanssa. Seuraavaa kokeilua kun suunniteltiin, päätettiin settilaatikko nostaa pöydälle ja kuumailmapuhaltimen johtoa selvittää, saisiko sen kiinnitettyä niin, että se tulisi yläpuolelta.



Kuva 25. Settilaatikon paikan vaihto karrystä pöydälle.

Mietittiin myös mahdollisuutta korottaa juotosaluetta ja korottamiseen käytettiin laatikkoa. Laatikko kuitenkin vei liikaa tilaa pöydällä, ja sen takaa oli hankala ottaa ruuvilaatikoista ruuveja, joten päätettiin tehdä kolmaskin kokeilu istuma-asennossa. Korotus ei myöskään ollut riittävä ergonomisen asennon saamiseksi.



Kuva 26. Juotosaseman korotus, mutta sillä ei päästy vieläkkään tarpeeksi korkealle.

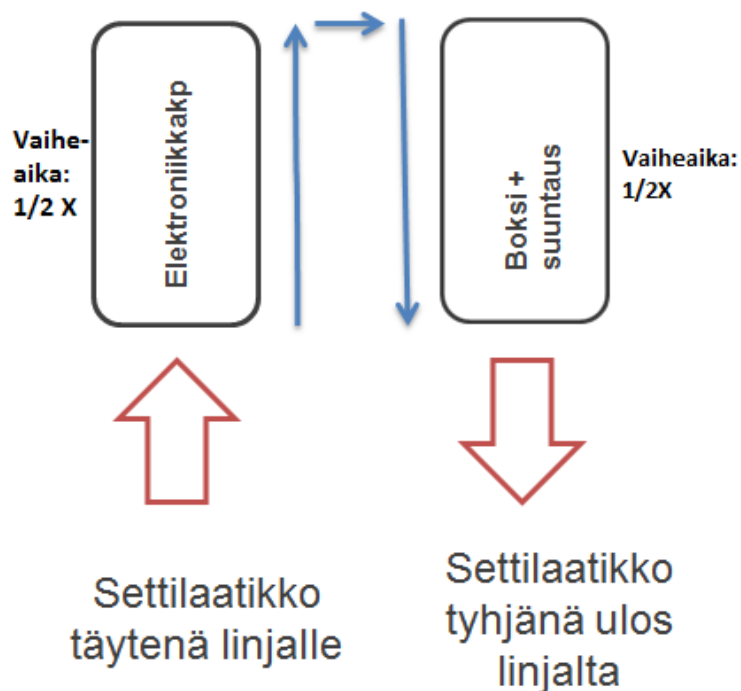
Kolmas ja neljäskokeilu tehtiin samassa testiympäristössä kuin edelliset, mutta pöydällä kallistettiin vielä settilaatikkoa, jotta osien ottaminen olisi helpompaa. Ajanotto tehtiin samalla tavalla kuin aiemmin. Kolmannen ja neljännen kokeilun välillä huomattiin, että tekeminen nopeutuu, kun uuteen työpisteeseen tottuu.

### 6.3 Lopputulos

Kokeilujen lopputuloksena saatiin suunniteltua U-solu, jossa jokainen työvaihe on yhtä pitkä. Elektroniikkakokoonpano saatiin sopimaan soluun, mutta sulkuvaihe jätettiin ulkopuolelle, sillä siihen menevä aika on huomattavasti pienempi, joten siihen ei puututa projektin yhteydessä. Käsitellään yhteen kokoonpanoon menevää aikaa kirjaimella X.

Settilaatikko tulee U-soluun toisesta päästä ja liikkuu elektroniikkakokoonpanon läpi kotelon kalustusvaiheen jälkeen suuntaukseen. Settilaatikko kulkee tässä mallissa työntekijöiden siirtelemänä. Työvaiheet voidaan tehdä yhdellä tai kahdella työntekijällä sen mukaan, kuinka monta kokoonpanoa halutaan saada päivän aikana ulos solusta eli kuinka paljon on asiakaskysyntää. Yhden työntekijän tapauksessa työntekijä ottaa settilaatikon elektroniikkakokoonpanoon ja suorittaa elektroniikkakokoonpanon ajassa  $1/2X$ . Tämän jälkeen työntekijä ottaa settilaatikon ja siirtyy kotelon kalustus+suuntausvaiheeseen ja suorittaa työvaiheen ajassa  $1/2X$ . Kalustus ja suuntaus -vaiheeseen

tuodaan solun ulkopuolelta kalustukseen tarvittavat kotelot, jotta settilaatikko ei olisi niin painava siirrellä. Molemmissa työpisteissä työntekijä tekee ainoastaan yhden kokoonpanon ja ottaa sen mukaansa seuraavaan vaiheeseen, jolloin hän jalostaa kokoonpanoa eteenpäin. Kun kalustus ja suuntaus-työvaihe on suoritettu, settilaatikko on tyhjä, ja se pinotaan U-linjan toiseen päähän ja siirrytään takaisin elektroniikkakokoonpanovaiheeseen ja aloitetaan alusta. Valmis kokoonpano haetaan pesuvaiheeseen solusta. Tästä seuraa, että yhden kokoonpanon läpimenoaika eli aika, joka kuluu, kun koko solu käydään läpi, on X.

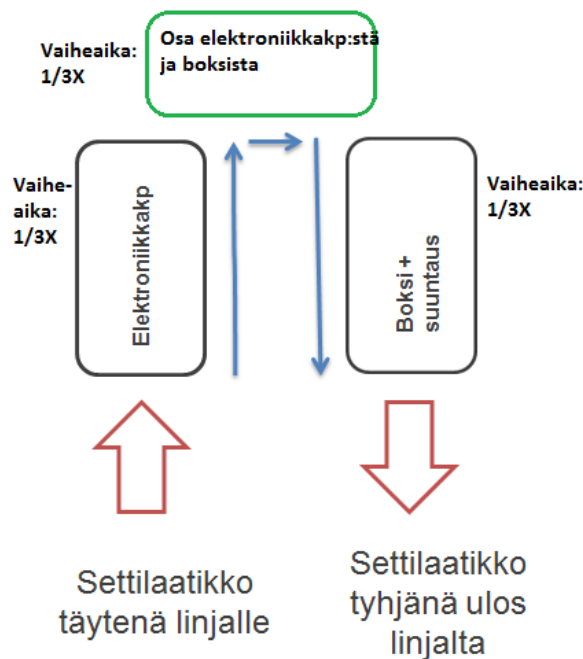


Kuva 27. Havainnekuva U-solusta

U-solussa on mahdollista työskennellä myös kaksi henkilöä, jolloin molemmat työskentelevät eri työpisteillä. Toisen henkilön voi lisätä soluun, mikäli on tarvetta useammalle kokoonpanolle päivän aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että uusi kokoonpano saadaan solusta ulos aina  $1/2X$ -ajan välein.

Solussa on myös tarpeen mukaan mahdollisuus työskennellä myös kolmella työntekijällä. Tässä tapauksessa U-solun lenkin päässä on yksi työpiste lisää, jolloin työtä pitää jakaa niin, että osa elektroniikkakokoonpanosta ja kalustuksesta ja suuntauksesta tehdään siellä. Näin jokaiselle vaiheelle saadaan vaihe-ajaksi  $1/3X$  ja

kokoonpanosolusta tulee ulos uusi kokoonpano aina ajan  $1/3X$  välein. Tällä tavoin kokoonpanoja saadaan vieläkin enemmän ulos U-solusta.



Kuva 28. Havainnekuva solun toiminnasta kolmella työntekijällä

Millainen parannus tehtiin reaali-prosessin ja nykyprosessin välillä? Nykyprosessin suurimmat ongelmat olivat välivarastoissa, keskeneräisessä tuotannossa, suurissa eräkoissa, asiakkaan kysyntään vastaamisessa, työergonomiassa ja ihmisten liikkumisessa. Lean-ajattelutavan mukaan nykyprosessissa oli paljon hukaksi määriteltyjä osia. Näihin osiin on pureuduttu reaali-prosessissa, joko poistamalla hukkia kokonaan tai pienentämällä niitä.

Yhden kappaleen virtauksella poistettiin turhia välivarastoja ja rajoitettiin eräkokoa, joten ongelmiin päästään käsiksi heti, kun niitä ilmenee eikä vasta 8 kokoonpanon jälkeen. Linjalle ei myöskään jää keskeneräistä tuotantoa, koska jokainen kokoonpano tehdään alusta loppuun. U-solu myös auttaa vastaamaan asiakkaan nopeaan kysyntään, sillä tarvittaessa siihen pystytään liittämään milloin tahansa työntekijöitä lisää. Työergonomiaa saadaan myös parannettua sähköisillä työpisteillä, jolloin työntekijä voi säätää työpöydän itelleen sopivaksi. Tulevaisuudessa jokaiselle työntekijälle on mahdollista työterveyslääkärin ohjeiden mukaan säätää optimaalinen työntekoasento. Tämän lisäksi ihmisten liikkuvuus pienenee, jolloin keskittyminen pysyy itse työssä eikä tarvitse kokoajan lähteä varastosta hakemaan osia.

U-solu on kaikkein puolin standardoidumpi linja kuin nykytilassa. Settilaatikot ohjaavat myös tuotantomäärää, sillä settejä on tarkoitus tehdä yhtä monta kuin päivätavoite on. Tämä ohjaa visuaalisesti tuotantolinjan informaatiovirtaa. U-soluun liittyy kuitenkin tiettyjä riskejä ja asioita, joita tarvitsee vielä tulevaisuudessa selvittää.

Vikatilanteille ei ole esimerkiksi mietittynä selkeää toimintatapaa eli mikäli setissä on viallinen osa, hylätäänkö koko setti ja kuka vastaa korjaamisesta? U-solun ongelmana on se, että koko solu pysähtyy, mikäli yksi työvaihe pysähtyy. Tähän on ratkaisuksi mietitty osien tarkistamista ennen linjalle menoa, mutta jotkin ongelmat saadaan kiinni vasta elektroniikan testausvaiheessa. Tämän lisäksi setittäminen tuo lisää vaiheita varastoon ja nykyisessä varastojärjestelmässä tällaiselle ei ole resursseja. Settilaatikko-ajattelun täytyisi siis muuttaa koko varaston järjestelmää. Tämän ongelman ratkaisuksi on mietitty yhtä solutyöntekijää, joka aloittaisi päivän tekemällä tarvittavat setit ja tuomalla ne linjalle. Tähän ei kuitenkaan menisi kokonaista päivää, joten työntekijä voisi loppupäivän työskennellä solussa. Tästä aiheutuu kuitenkin ongelmia päivätavoitteeseen pääsyn kanssa, koska kaikkia resursseja ei voida käyttää koko päivää tuotteen jalostukseen.

Muita uhkia on settien varastoinnin kanssa, sillä setit toimivat välivarastoina, joista yritetään päästä eroon. Tuotteella ei myöskään ole montaa erilaista variaatiota, joten setit eivät ratkaise sellaisia ongelmia, joiden ratkaisuun yritykset yleensä käyttävät settiajattelua. Myöskään tuotteen läpimenoajassa ei säästetä paljoa verrattuna nykytilanteeseen, säästö on ehkä noin 15 %, mutta suuremmat taloudelliset voitot tulevatkin keskeneräisen tuotannon poistamisesta. Tällä soluajattelulla voidaan varastoja pienentää 70% nykyisestä.

*Laskentakaavoja, aikoja ja rahasummia ei paljasteta yrityssalaisuuden säilyttämiseksi.*

## 7 Yhteenveto

Insinööriyössä käytiin läpi lean-ajattelun periaatteita ja sovellettiin niitä käytäntöön solukokeilujen avulla. Solukokeilujen lähtökohtana pidettiin nykytilan arvovirtakartoituksessa havaittuja ongelmia ja reaaliprosessissa luotu uusi solu

ratkaisee monia niistä. Ongelman ratkaisut saatiin aikaiseksi erittäin pienillä resursseilla, ja linja on hyvä lähtökohta myös työntekijöille nähdä lean-periaatteiden edut, koska työntekijöitä osallistettiin mukaan tekemiseen. Yrityksen työntekijöissä on valtava potentiaali kehittää yritystä eteenpäin.

Kaiken kaikkiaan uusi solu vähensi välivarastoja ja keskitti tuotannon juuri siihen, mitä asiakas tarvitsee. Tulevaisuudessa kuitenkin vasta nähdään, millaisia muita tuloksia ja tietysti myös ongelmia solusta tulee, kun se siirretään koko aikaiseksi ratkaisuksi tuotantoon. Solun toiminta vaatii lähitulevaisuudessa vielä tukea ja henkilökunnan koulutuksia ennen kuin se pyörii omalla painollaan. Tämän lisäksi tulevaisuudessa voisi testata vielä supermarket-ajattelutavan, jossa jokainen osa tulisi soluun omassa erillisessä laatikossaan ja ottaa vertailukohdan settilaatikko-ajattelumallille.

## Lähteet

- 1 Tervetuloa maailman johtavan hammashoitoteknologian pariin. 2016. Verkkodokumentti. Planmeca. < <http://www.planmeca.com/fi/>> . Luettu 10.04.2016.
- 2 Planmeca Ultra Low Dose™ - kuvantamisprotokollan tehosta tieteellistä näyttöä. 2016. Verkkodokumentti. Planmeca. <[http://publications.planmeca.com/Brochures/3D/ULD\\_bro\\_en\\_low.pdf](http://publications.planmeca.com/Brochures/3D/ULD_bro_en_low.pdf)>. Luettu 30.03.2016.
- 3 Liker, Jeffrey K. 2004. The Toyota Way. McGraw-Hill. 3. painos.
- 4 A Brief History Of Lean. 2015. Verkkodokumentti. Lean Enterprise Institute.< <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>>. Luettu 09.04.2016.
- 5 Rother, Mike. 2009. Learning To See, value-stream mapping to create value and eliminate muda. Cambridge, MA, USA: Lean Enterprise Institute. Versio 1.4.
- 6 All About Spaghetti Diagrams. 2015. Verkkodokumentti. All About Lean.< <http://www.allaboutlean.com/spaghetti-diagrams/>>. Luettu 06.04.2016.
- 7 Ultraäänipesu ja sen edut. 2015. Verkkodokumentti. Finnsonic. < <http://www.finnsonic.com/ratkaisut/ultraaanipesujasenedut/>>. Luettu 29.03.2016.
- 8 Jokainen askel on tärkeä. 2014. Verkkodokumentti. Oma Terveys Oy. < <http://www.terve.fi/liikunta-ja-kuntoilu/74718-jokainen-askel-on-tarkea>>. Luettu 29.03.2016

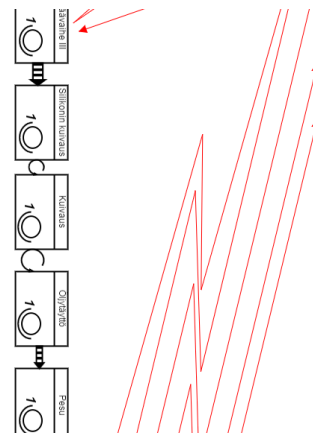


## **Toyotan tavan 14 periaatetta**

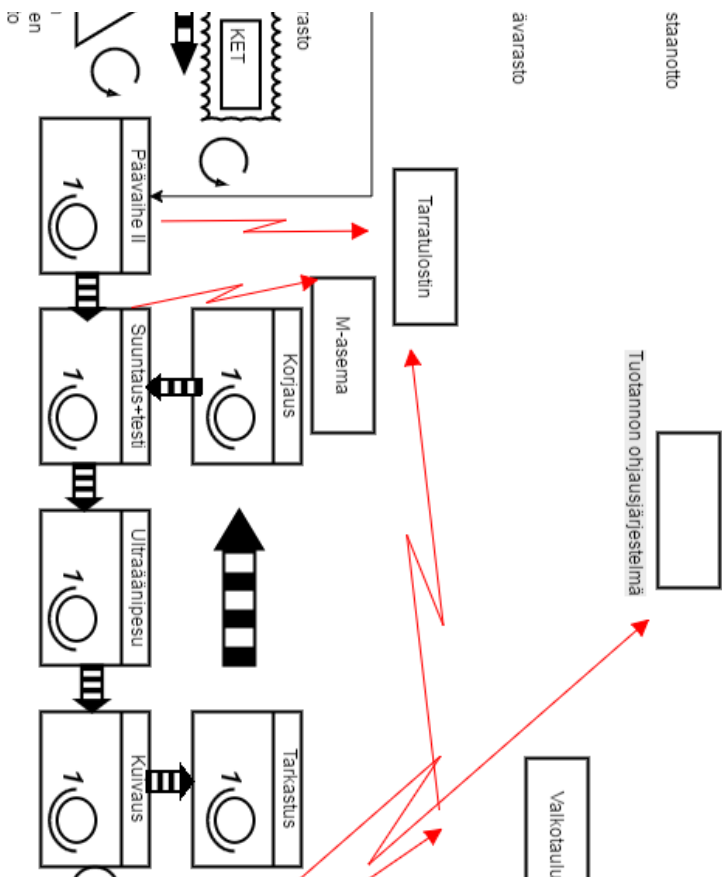
1. Päätökset tehdään pitkän tähtäimen tavoitteiden pohjalta, mutta otetaan huomioon lyhyen tähtäimen taloudelliset tavoitteet. Tämä tarkoittaa sitä, että arvoa täytyy kehittää lähtökohtaisesti asiakkaalle, yhteiskunnalle ja taloudelle. Samoin omaa osaamista täytyy kehittää jatkuvasti, jotta arvoa saadaan tuotettua tulevaisuudessakin.
2. Jatkuvan virtauksen luominen, jotta ongelmat saadaan esille. Tämä tarkoittaa työprosessien uudelleen suunnittelua, jossa materiaali ja informaatio siirtyy nopeasti ja keskeytyksettä. Virtausta ei ainoastaan tuoteta yhdelle tuotantolinjalle vaan koko organisaatiolle.
3. Imun käyttö materiaalivirroissa, jotta ylituotantoa ei muodostuisi. Materiaalivirta täytyy suunnitella niin, että jokainen prosessi tekee juuri sitä, mitä seuraava tarvitsee ja juuri silloin, kun se tarvitsee sitä. Tuotantoerät on pidettävä niin pieninä kuin mahdollista, jotta pystytään vastaamaan asiakkaan kysyntään juuri silloin kuin pitää eikä luoteta aikatauluarvioihin.
4. Työmäärää on tasapainotettava. Hukka ei ole ainoa, mihin täytyy keskittyä vaan myös työmäärän optimointiin. Tarkoituksena ei ole tuottaa nopeammin vaan älykkäämmin, jotta ihmisiä ja välineitä ei ylikuormiteta,
5. Laadun tarkkailua on tapahduttava jokaisessa prosessissa, jotta laatu olisi kunnossa heti ensimmäisellä kerralla. Tämä vaatii kokonaan uuden kulttuurin luomista, jota ohjaa asiakkaan vaatima laatu. Prosessit on suunniteltava niin, että laaduntarkkailu on jokaisessa vaiheessa mahdollista ja prosessi voi pysähtyä mikäli laatu ei ole kohdillaan.
6. Työtehtävät on standardoitava. Standardi on parantamisen perusta ja sitouttaa työntekijät toimimaan samalla tavalla. Standardointi auttaa tuotannon ennustettavuudessa ja se sallii työntekijän käyttää luovuttaan kehittämishankkeissa, sillä on jokin kohta mihin verrata.

7. Visuaalisen ohjauksen käyttäminen auttaa ongelmien tunnistamisessa. Visuaalisessa ohjauksessa käytetään yksinkertaisia menetelmiä, joilla työntekijät ja työnjohto voivat yhdellä silmäyksellä nähdä tuotannon tilan. Visuaalisella ohjauksella voi ohjata myös materiaalivirtaa.
8. Mikäli teknologiaa käytetään, se on oltava luotettavaa, testattua ja palvella ihmisiä ja prosesseja. Teknologiaa käytetään ihmisten avuksi eikä korvaamaan ihmistä.
9. Johtajien täytyy ymmärtää työ perusteellisesti, noudattaa filosofiaa ja pystyä opettamaan sitä muille. Johtajia kasvatetaan yrityksen sisällä eikä ulkopuolella. Johtajan täytyy toimia filosofian roolimallina.
10. Kulttuurin luominen. Yrityksen arvot ja toimintatavat täytyy levittää laajalle ja niitä on pystyttävä noudattamaan myös vuosienkin päästä. Kulttuurissa ihmiset käyttävät yrityksen työkaluja yrityksen parantamiseen.
11. Yhteistyökumppaneiden ja alihankkijoiden kanssa on tehtävä yhteistyötä ja pyrkiä tarjoamaan heille haasteita. Yhteistyökumppanit ja alihankkijoita on kunnioitettava yrityksen jatkeena.
12. Paikan päällä tapahtuva tilanteen analysointi (genchi genbutsu). Ongelmien ja epäselvien tilanteiden ratkaisemiseksi on paras tapa mennä paikan päälle ja analysoida tilanne. Näin saadaan aikaan laajin ymmärrys asiasta.
13. Päätöksissä on otettava huomioon kaikki vaihtoehdot ja päätöksiä on tehtävä nopeasti. Nemawashi tarkoittaa prosessia, jossa keskustellaan ongelmatilanteista ja etsitään ratkaisua kaikkien niiden henkilöiden kanssa, jota ongelma koskee. Tämä lisää vaihtoehtoisia ajatustapoja.
14. Yrityksen on oltava oppiva organisaatio, joka jatkuvasti parantaa prosessejaan.

## Nykytilan arvovirtakartta koko tuotannosta



Nykytilan arvovirtakartta kokoonpanosta



**Solukokeilussa I päävaiheessa I käytettävät välineet ja aineet**

- Sähköpöytä
- Juotosasema
  - i. Kolvi
  - ii. Imuri
- 2 kpl muovinen korotuspala
- 2 kpl kuusiokoloruuvi DIN6912 M4x12
- 2 kpl kuusiokoloruuvi DIN6912 A4 M4x10
- 1 kpl kuusiokoloruuvi DIN912 M4x6 A2
- 1 kpl piirikortti
- 1 kpl kuusiokoloruuvi DIN912 M4x6 A2
- Natikka (momentti 13)
- Sähköinen momentin väännin
- Kärkipihdit
- Ruuvipenkki
- Sivuleikkurit
- 1 kpl nippuside
- 1 kpl TH-boksi
- 1 kpl muuntajakokoonpano
- 1 kpl valmis röntgenputki
- 4 kpl o-rengas
- 4 kpl kuusiokoloruuvi D912/ISO 4762 M4x16 A2
- 1 kpl kuusiokoloruuvi D912 M4x8 A2
- 1 kpl tähtialuslevy DIN6798 M4 A2
- 4 kpl TH\_PVАНNE

Kokeilussa käytettiin seuraavia aineita

- Lyijytön tina
- Flux –juoksute

Muita työvälineitä, joita käytettiin kokeiluissa

- Valkoinen tussitaulu
- Taulutussi
- Älypuhelin, jossa käytettiin ajastinta kellottamiseen
- Toimistotuoli

**Solukokeilussa I päävaiheessa II käytettävät välineet ja aineet**

- Sähköpöytä
- Ruuvilaatikoita
- Natikka ja momenttiavain
- Sädeikkunaräikkä
- Kärkipihdit
- Momenttiväännin
- Pumpulipuikko
- Silikonipistooli

Settilaatikkoon kerättiin seuraavat osat

- 1 kpl window
- 1 kpl o-rengas
- 1 kpl ikkunamutteri
- 1 kpl kalustettu, pesty ja suunnattu päävaiheen I kokoonpano
- 2 kpl tubehead attachment spacer
- 1 kpl valmis kansikokoonpano

Ruuvilaatikoihin kerättiin seuraavat ruuvit

- 20 kpl kuusiokoloruuvi DIN912 M4x6 A2
- 76 kpl kuusiokoloruuvi DIN912 M4x6 A2
- 4 kpl kuusiokoloruuvi DIN912 M4x8 A2
- 4 kpl tähtialuslevy DIN6798 M4 A2
- 16 kpl kuusiokoloruuvi DIN7991 M6x12 Zn

Kokeilussa käytettiin aineita

- Silikoni ja industol